

Trabajo final de grado

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGIAS
INDUSTRIALES**

**DISEÑO Y CÁLCULO DE UN ESTACIONAMIENTO
VERTICAL**

MEMORIA

Autor: Tigran Kareyan
Director: Dr. Emilio Angulo
Convocatoria: Septiembre 2017



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Industrial de Barcelona



1. Resumen

En este trabajo se ha realizado el diseño, cálculo y optimización de un estacionamiento giratorio tipo carrusel. También se ha realizado el cálculo de la cimentación según la normativa vigente (Código técnico de la edificación e instalación de hormigón estructural)

Además se ha desarrollado la documentación necesaria para las soldaduras de uniones, con los planos y cálculos correspondientes.

Se trata de un estacionamiento con capacidad de 10 coches de 5460 x 7000 x 14200 mm. Dimensiones de coches admitidos son 5200 x 2100 x 1700 mm con peso máximo de 2100 Kg.

La estructura es de acero S275-JR con uniones soldadas con electrodo de rutilo.

La cimentación está formada por zapatas cuadráticas y vigas de atado de hormigón armado HA-25 N/mm², calculadas para un terreno de resistencia superior a 2.0 Kg/cm².

Se ha realizado el presupuesto estimativo del proyecto, de acuerdo a la situación actual del mercado.

Como cualquier trabajo de ingeniería no puede carecer de estudio medioambiental, se ha realizado un estudio de obtención y reciclaje de acero como material principal del trabajo.

Índice

1. Resumen	2
2. Introducción	5
2.1 Objetivo del proyecto	5
2.2 Alcance del proyecto	5
3. Justificación	6
3.1 Motivación personal	6
3.2 Motivación industrial	6
3.3 Conocimientos y aprendizajes previos	6
4. Estado del arte	7
4.1 Historia y primeras apariciones	7
4.2 Smart Parking Solution Inc.	8
4.3 Jinan Jinli hydraulic machinery co.	9
4.4 Grupo de Hong-Jiu Jiu Road Parking	10
5. Especificaciones básicas	11
5.1 Especificaciones generales	11
5.2 Dimensiones de coche	12
5.3 Especificaciones del motor	13
6. Diseño conceptual	15
6.1 Cesta	15
6.2 Estructura metálica	15
6.3 Materiales	16
6.3.1 Características mecánicas del acero	17
6.3.2 Características tecnológicas del acero	17
6.3.3 Tipos de acero	17
6.4 Perfiles metálicos	18
6.4.1 Acabado superficial	18
6.5 Medios de Unión	18
6.5.1 Uniones atornilladas	18
6.5.2 Uniones soldadas	18
6.6 Cimentación	19
6.7 Arranque de pilar y placa de anclaje	19
6.7.1 Placa de anclaje	19
6.7.2 Arranque de pilar	20
7. Cálculos	24

7.1 Cimentación	24
7.1.1 Zapata aislada	24
7.1.2 Tensiones en el terreno, comprobación a hundimiento	25
7.1.3 Cálculo de dimensiones de una zapata aislada	27
7.1.5 Capacidad estructural	29
7.1.6 Cálculo numérico y dimensionamiento de la zapata	30
7.1.7 Cálculo de una zapata rígida	30
7.2 Cálculo y diseño de la cesta	32
7.2.1 Método de elementos finitos	32
7.2.2 Unidades de medida	33
7.2.4 Condiciones de contorno	34
7.2.3 Idealización del modelo	35
7.2.4 Resultados obtenidos	36
7.2.5 Criterio de la falla	38
7.3 Estructura metálica	39
7.3.1 CYPE 3D descripción general	39
7.3.2 Hipótesis de carga	39
7.3.3 Análisis de los resultados	45
8. Estudio económico	50
8.1 Costes directos	50
8.2 Coste de ingeniería	50
8.3 Costes de licencia de software	51
9. Planificación temporal	52
10. Impacto ambiental	53
10.1 Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida	53
10.2 Metodología del análisis de ciclo de vida	53
10.3 Reciclaje de materiales de construcción.	53
11. Normativas	55
11.1 Cimentaciones	55
11.2 Estructuras	55
12. Agradecimientos	57
13. Conclusiones	58
14. Bibliografía	59

2. Introducción

2.1 Objetivo del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y calcular un estacionamiento vertical tipo carrusel con una capacidad de 10 coches, aprovechando el mínimo espacio posible.

Otro de los objetivos, pero no menos importante, es aprender a realizar cálculo de la estructura metálica (acero) y de la cimentación, de acuerdo a la normativa vigente (CTE y EHE). Para cumplimiento de este objetivo se han realizado los siguientes objetivos parciales:

- Recopilación de la información necesaria para el planteamiento del cálculo estructural.
- Modelización de la estructura base
- Modelización de la cesta
- Realización de cálculos de estructura mediante programas ANSYS y CYPE
- Desarrollo de los documentos técnicos necesarios para la ejecución del estacionamiento.

2.2 Alcance del proyecto

Partiendo de la premisa de que la duración de este proyecto está limitada a un cuatrimestre, la principal dificultad que se ha encontrado ha sido el tiempo. Es por ello, que el estudio se centra principalmente en el diseño y cálculo de la estructura metálica, de la cesta y el cálculo de la cimentación. Se ha abstenido de realizar los cálculos del mecanismo de transmisión y la parte electrónica.

Es posible que si se hubiera tiempo de profundizar el proyecto, se realizaría un cálculo detallado de mecanismo, el motor necesario y la parte eléctrica.

Objetivos Alcanzados		Objetivos no alcanzados	
Búsqueda y selección de una estructura alternativa a un edificio, y de complejidad	✓	Búsqueda de alternativas innovadoras de la estructura principal	✗
Estudio del funcionamiento de un aparcamiento tipo carrusel	✓	Cálculo del mecanismo de elevación, aunque sí se ha asegurado que la estructura lo resiste	✗
Investigación de la normativa aplicadas	✓	Proyecto ejecutivo (Costes, instalación, puesto en marcha)	✗
Investigación y selección de material	✓		
Planteamiento de geometría	✓		
Cálculo de estacionamiento	✓		
Cálculo de la cesta	✓		
Cálculo de cimentación	✓		
Presupuesto estimativo	✓		

3. Justificación

3.1 Motivación personal

El ambiente familiar relacionado con el ámbito de la arquitectura y la construcción han sido el principal motivo para la realización de este trabajo y por otra parte el estudio de Ingeniería.

Ser capaz de realizar un proyecto desde la concepción de la idea inicial, sobre papel, hasta concluir en un proyecto físico siempre ha sido un desafío y una sensación de superar barreras.

Además, encontrar la aplicación de conocimientos adquiridos en el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales junto con la adquisición de muchos conocimientos ha sido un punto muy positivo y alentador.

Por último, supone una satisfacción personal ver los progresos propio en un nuevo ámbito de trabajo.

3.2 Motivación industrial

Se sabe que hoy los requerimientos de estacionamientos están aumentando en las municipalidades y que en ocasiones las inmobiliarias no pueden construir un edificio por falta de espacio suficiente para estacionamientos. Este proyecto apunta a resolver estas problemáticas.

Poder habilitar estacionamientos de gran capacidad en superficies reducidas, éstos reducen el impacto vial y medioambiental, resguardan de mejor manera lugares históricos o patrimoniales en una ciudad. Son más seguros mediante los sistemas automatizados, por ejemplo, los coches quedan estacionados en un lugar cerrado, eliminándose la posibilidad de choques o robos.

Además, este tipo de estacionamientos son muy expandidos en países como China o Rusia, los que tienen una normativa diferente a europea. Así que se decidió adaptar el estacionamiento según la normativa vigente (CTE y EHE).

3.3 Conocimientos y aprendizajes previos

Para realizar este proyecto ha sido básico el aprendizaje de unas herramientas fundamentales en este ámbito como son el AutoCAD, ANSYS, CYPE y SolidWorks.

Por otra parte, ha sido necesario alcanzar la existencia de una serie de conjuntos de normas que son la base de un proyecto como este. Como es ahora la CTE, Códigos Técnicos de la Edificación, en el que están establecidos los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de las construcciones.

Los documentos de la normativas UNE son un conjunto de normas, normas estandarizadas e informes creados por los Comités Técnicos de Normalización.

Por último, han sido de utilidad los conceptos alcanzados en el Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, en este caso todas las asignaturas relacionadas con la resistencia de materiales y otros como gestión de proyectos.

4. Estado del arte

4.1 Historia y primeras apariciones

A continuación se realizará un estudio sobre algunos de los productos parecidos que existen en el mercado y sus especificaciones detalladas. Los primeros productos similares estaciones aparecieron en L.A., Nueva York y Chicago en el año 1932. Fue un invento innovador, ya que ahorra mucho espacio en la ciudad y resolvía el gran problema de estacionamiento que había, entonces, en las ciudades grandes.



Fig. 4.1 Nueva York 1932



Fig. 4.2 Chicago 1932

“El éxito de esta idea, sin duda, aumentará mucho el valor de los coches para los residentes de la ciudad y acelerar el tráfico, despejando las calles de los numerosos coches estacionados que a menudo reducen los carriles de tráfico a la mitad de su eficiencia adecuada.”

Ciencia y mecánica cotidianas, enero de 1932

En actualidad existen varias empresas que ofrecen diferentes tipos de estacionamiento mecanizado. Las principales compañías que ofrecen un sistema de estacionamiento rotatorio son las siguientes:

- Smart Parking Solution Inc.
- Jinan Jinli hydraulic machinery co.
- Grupo de Hong-Jiu Jiu Road Parking

A continuación se estudiará especificaciones de cada tipo de estacionamiento que ofrecen las compañías dichas anteriormente.

4.2 Smart Parking Solution Inc.

Smart Parking Solution es una empresa especializada en sistemas de estacionamiento rotatorio en EEUU. La distribución y fabricación se realiza por la empresa DYPC (Dongyang PC. Inc.). Ofrece 6 tipos diferentes según su capacidad.

Modelo	SM6L- SM16L	
Capacidad	Coches	6-16
	Longitud (mm)	5800
Dimensiones del sistema	Ancho (mm)	6400
	Alto (mm)	6600 -16800
Peso del sistema	Toneladas	11.9 - 28.6
	Longitud	5100
Coche admisible	Ancho	2000
	Alto	1600
	Peso (Kg)	2150 - 26500
Potencia del motor (KW)	5.5 - 15	
Control del motor	Manejo directo	
Velocidad (m/min)	3.1~4.2	
Rango de temperatura de trabajo admisible	-40C°+45C°	
Ruido	65~75dB	
Fuente de energía eléctrica	AC380V, 3PH, 50/60Hz	

Dispositivos de seguridad

- Sensores fotográficos en la parte delantera y trasera en la entrada
- Sensores fotográficos en ambos lados para la apertura de la puerta del automóvil
- Relé de sobrecorriente para protección del motor
- Servicio de parada de emergencia
- Tapón de desbordamiento en el palé
- Dispositivo de prevención de caída del coche (Sistema de atornillado de lazo para el soporte de la cadena principal)
- Dispositivo de prevención de caídas del automóvil (carril de guía doble)

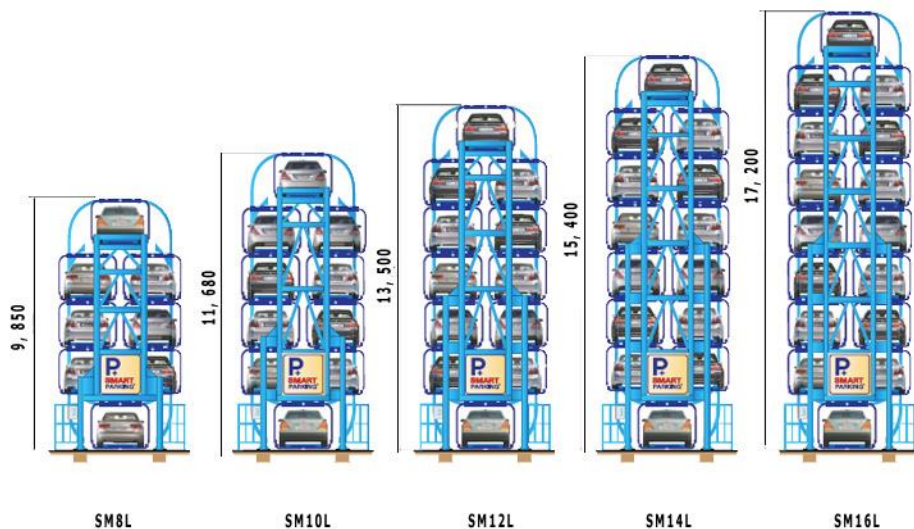


Fig. 4.3 Modelos SM8L-SM16L

4.3 Jinan Jinli hydraulic machinery co.

Es una empresa de un alto nivel de gestión moderna y con una fuerte capacidad de producción en la industria. La empresa ofrece una gran variedad de productos como son: sistema de aparcamiento, puente de ferrocarriles, plataforma de elevación etc...

Modelo	Parking giratorio
Capacidad	Coches 6-14
	Longitud (mm) 5700
Dimensiones del sistema	Ancho (mm) 6500
	Alto (mm) 6600 – 15200
Peso del sistema	Toneladas 11.0 - 24.5
	Longitud 5000
Coches admisibles	Ancho 1850
	Alto 1550
	Peso (Kg) 2500
Potencia del motor (KW)	9.2
Control del motor	Manejo directo
Promedio de tiempo de acceso al vehículo (s)	136
Rango de temperatura de trabajo admisible	0C° +42C°
Ruido	< 60dB
Fuente de energía eléctrica	AC380V, 3PH, 50/60Hz
Elevada humedad	≤ 90 %
Modos de funcionamiento	Tarjeta de RFID/Tecla numérica

Dispositivos de seguridad

- Interruptor de parada de emergencia
- Más de correr el dispositivo de prevención de
- Longitud del coche, anchura, dispositivo limitador de altura
- El dispositivo de prevención de sobrecarga
- Dispositivo de seguridad anti-caída
- Dispositivo de bloqueo del vehículo
- Dispositivo de detección de humanos y vehículos
- Dispositivo de detección de la posición del vehículo en lugar de estacionamiento



Fig. 4.4 Modelo de capacidad 14 coches

4.4 Grupo de Hong-Jiu Jiu Road Parking

Grupo de Hong-Jiu Jiu Road Parking tiene 24 artículos patentes en China, se centra en la I + D para alto equipo de estacionamiento rotatorio avanzada.

Modelo	Sistema de Estacionamiento rotativo	
Capacidad	Coches	8-16
Dimensiones del sistema	Longitud (mm)	57000
	Ancho (mm)	65000
	Alto (mm)	66000 – 152000
Peso del sistema	Toneladas	13.4 – 32.7
	Longitud	5300
	Ancho	2000
Coches admisibles	Alto	2000
	Peso (Kg)	2500
Potencia del motor (KW)		7.5-15
Control del motor		Manejo directo
Promedio de tiempo de acceso al vehículo (s)		≤ 145
Ruido		< 60dB
Fuente de energía eléctrica		AC380V, 3PH, 50/60Hz
Interfaz de operación		Ponga el botón + Tarjeta IC
Garantía		2 años
Cliente-diseño	Diseño especial basado en el requisito del cliente	
Lugar de instalación	Hospitales, bancos, empresas y las institución pública, zona residencial, zona comercial, fabricante de automóviles, la estación y El Muelle	



Fig. 4.4 Hong-Jiu Jiu Road Parking

5. Especificaciones básicas

5.1 Especificaciones generales

El estacionamiento vertical consiste en plataformas de estacionamiento compactas, que funcionan automáticamente. El gran objetivo que persiguen es habilitar estacionamientos en lugares de superficie limitada, pudiendo ampliar significativamente el espacio existente. Como ya se ha especificado anteriormente, el diseño que se va a realizar, será un estacionamiento con una capacidad de 10. También existe la posibilidad de construir estacionamientos hasta para 14 coches. Pero por el escaso de tiempo solo se harán los cálculos para 10 coches.

Se necesita un espacio disponible de 5.46 x 7.00m (38.15m²), eso es el espacio que ocupan 2 coches estacionados en paralelo. Entonces aprovechando el espacio de 2 coches se consigue un parking para 10 coches.

También existe la posibilidad de mejorar la estética del estacionamiento (Fig. 5.1.2) utilizando recubrimiento de chapas de aluminio o de madera.

Modelo		Estacionamiento tipo carrusel
Capacidad	Coches	10
	Longitud (m)	≤ 7.0
Dimensiones del sistema	Ancho (m)	≤ 6.6
	Alto (m)	≤ 15.0
Peso del sistema	Toneladas	≤ 31.0
	Longitud (m)	≤ 5.2
Coches admisibles	Ancho (m)	≤ 2.1
	Alto (m)	≤ 1.7
	Peso (Kg)	≤ 2.1
Potencia del motor (KW)		≈ 10.0
Promedio de tiempo de acceso al vehículo (s)		≤ 145
Ruido		< 60dB
Fuente de energía eléctrica		AC380V, 3PH, 50/60Hz
Interfaz de operación		Ponga el botón + Tarjeta IC

La superficie necesaria de cimentación es de 31 m² (4.08x7.6 m). La cimentación es de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa y acero UNE-EN 10080 B 400 S, con una cuantía 50 kg/m³.

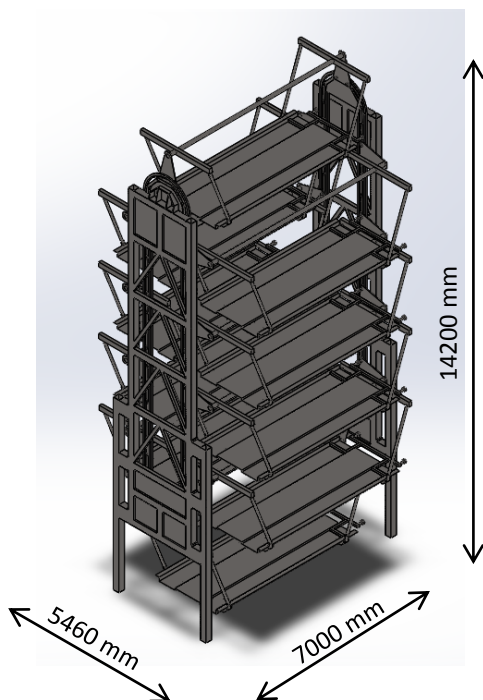


Fig. 5.1.1 Dimensiones de estacionamiento



Fig. 5.1.2 Estacionamiento vertical, recubrimiento placas de aluminio

5.2 Dimensiones de coche

Antes de realizar el diseño de la cesta es necesario especificar las dimensiones y el peso del coche que aceptaría el aparcamiento. La fuerza nominal que deberá soportar nuestra cesta sin romper debe ser el peso de un coche, además debería tener las dimensiones necesaria para poder entrar el aparcamiento con facilidad.

En este proyecto se ha decidido coger como función básica, que soporte un peso determinado, éste corresponde al peso que en un 95% de los casos es superior al peso de un coche. Dicho de otro modo, el 95% de los coches que pesan menos que el peso nominal.

Como actualmente hay una gran variedad de marcas y modelos de coches, entonces no se podría coger todos los datos de coches de todos los años, por tanto se ha decidido estudiar solo los datos de las marcas Mercedes-Benz y BMW del año 2016. Basando en datos estadísticos se ha podido observar que el peso medio de un coche es 1365Kg, mientras que el intervalo máximo del ancho, alto y largo son 1865mm, 1547mm y 4792mm respectivamente.

También se ha decidido hacer un estudio de intervalo de peso y medidas de coches. Por tanto, en la realización del estudio del peso y de las dimensiones de un coche se tomará como valor medio 1365Kg y como desviación tipo 128Kg, debido a que el intervalo de los coches estudiados es aproximadamente de 980Kg-1750Kg. Por lo tanto si se elige como peso máximo del coche 1750 Kg el 97,5% de los coches pueden entrar al aparcamiento, es decir, los coches que pesan menos de 1750Kg y tienen unas dimensiones no superior a especificadas satisface los requisitos del parking.

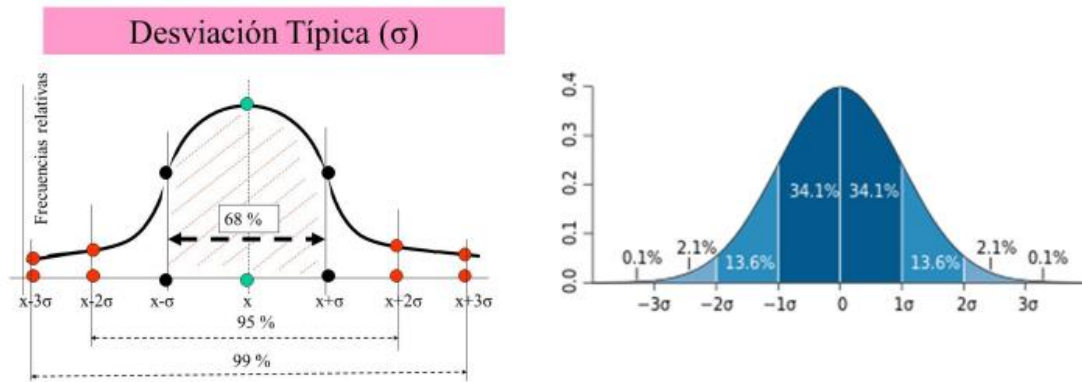


Fig. 5.1 Distribución normal

Una vez conocida el peso nominal y las dimensiones, se aplicara un coeficiente de seguridad que mayor las cargas e indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos. El coeficiente se aplicara tanto por el peso como por las medidas del coche.

Aplicando un coeficiente de 1.2 se obtiene los siguientes resultados:

Peso máximo 2100 Kg
Anchura 2100 mm
Altura 1700 mm
Largaría 5200 mm

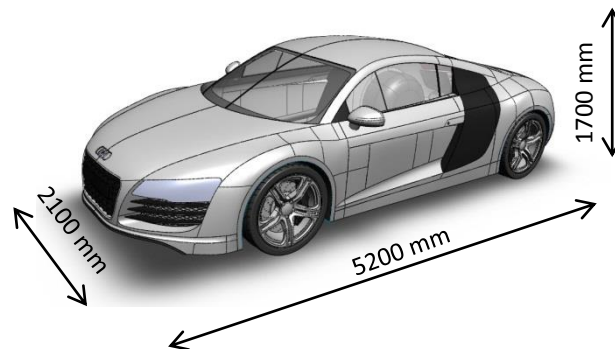


Fig. 5.2.1 Dimensiones máximas del coche

5.3 Especificaciones del motor

En este proyecto no se ha realizado cálculo de la potencia o tipo de motor que se debe utilizar, pero la compañía “Smart Parking Solution Inc.” compartió la especificación detallada del motor que utiliza para sus estacionamientos.

Tipo:	Motor trifásico
Ciclo de trabajo:	S1
Fase del motor:	Trifásico
Potencia del motor:	7.5 KW
Tensión de arranque:	220/380 D/Y VAC
Frecuencia:	50 Hz
Clase de aislamiento:	B
Diagrama de circuito:	R13
Corriente nominal:	27.0/15.6 A
Tipo de rotor:	Jaula de ardilla AC
Factor de potencia:	0.82
Relación de intensidad de arranque:	8.2
Relación de par de arranque:	2.2
Relación de transmisión:	100.75
Velocidad de entrada:	1470 rpm
Velocidad de salida:	15 rpm
Par de salida:	4910 Nm
Momento de inercia del motor de engranaje	20-357
Eficiencia	94%
Voltaje de freno	220 V
Par de freno	110 Nm
Peso	367 kg

Tabla 5.3.1 Especificaciones del motor K107 DRE132MC4BE11HR/C



Fig. 5.3.1 Motor K107 DRE132MC4BE11HR/C

6. Diseño conceptual

6.1 Cesta

Una de las partes con más importancia del proyecto es el diseño de la geometría de la cesta, para asegurar una buena solución, se requerirá hacer diferentes diseños antes de obtener el definitivo. La cesta es la parte donde entrará el coche que después será elevado a su posición correspondiente. Por el posterior análisis del estado de tensiones y deformaciones se han hecho un modelo en SolidWorks para importar después a ANSYS, que se realizará un estudio de tensiones y deformaciones basando en el método los elementos finitos.

A la hora de hacer el diseño de la cesta se consideraron varias ideas, pero como la cesta debería cumplir todas las especificaciones de dimensiones reseñadas anteriormente y por supuesto soportar el peso de un coche, limitó las ideas diseñadas quedando con dos. Las dos ideas parecían bastante correctas y también cumplían con todas las especificaciones demandadas.



Fig. 6.1.1 Cesta A

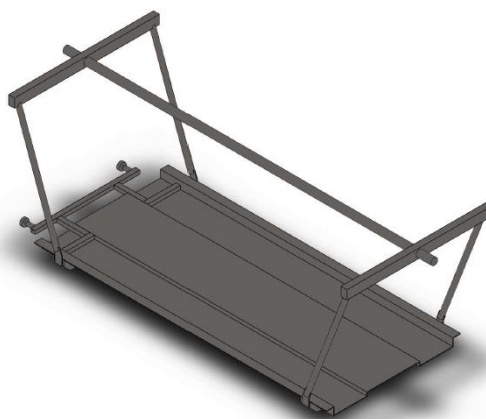


Fig. 6.1.2 Cesta B

Después de realizar los cálculos, mediante elementos finitos, se ha determinado que la Cesta B tenía menor tensión equivalente máxima que la Cesta A. Así que para mayor seguridad se opta como mejor diseño la Cesta B. Todos los cálculos realizados y la explicación de métodos de elementos finitos se pueden ver en el apartado [7. Cálculos](#).

6.2 Estructura metálica

Como en el caso de la cesta en este caso también se han hecho diferentes diseños hasta llegar a la solución definitiva. Por otra parte el diseño de la estructura principal se basó en la estructura de Smart Paking Solution, visto anteriormente. Para un diseño correcto se procederá a la selección de la normativa a considerar en los cálculos (CTE, EHE...). La finalidad de la estructura de este proyecto, además de soportar el peso de las cestas y de los coches, es facilitar la instalación de la cadena de transmisión.

Después de realizar diferentes bocetos se han obtenido dos diseños diferentes, en principio los dos diseños parecen correctos y realizando todos los cálculos se pudo comprobar que el primer diseño no cumple con la normativa, ya que el ángulo para soldar dos perfiles metálicos no puede ser menor que 30°.

A continuación en el apartado de [7. Cálculos](#) se puede ver todas las comprobaciones que dan por definitiva la figura 6.2.2.

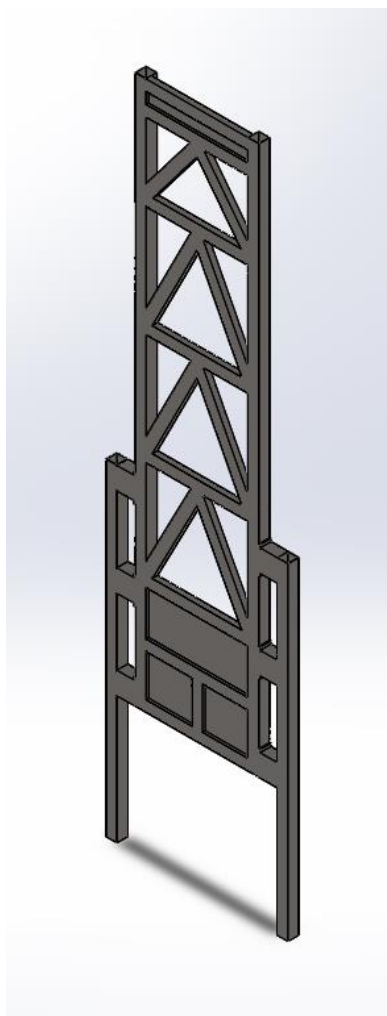


Fig. 6.2.1 Estructura principal

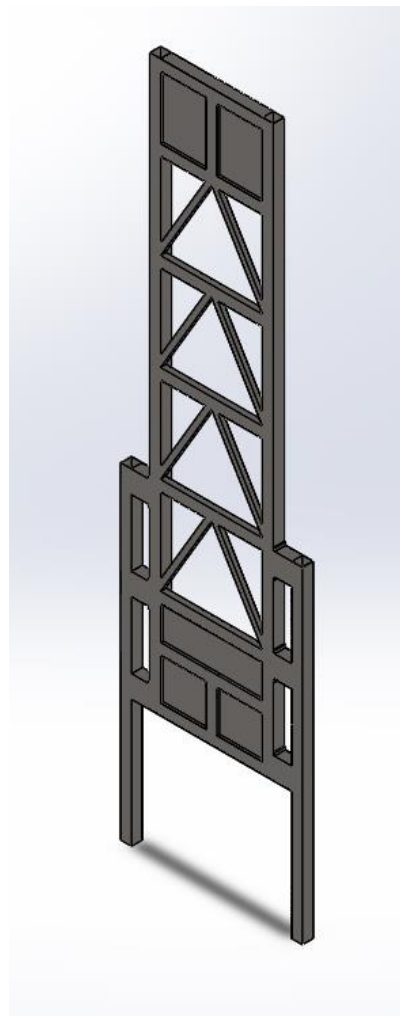


Fig. 6.2.2 Estructura definitiva

6.3 Materiales

Los metales que se emplean en estructuras metálicas son principalmente el acero ordinario, el acero autopatinable, el acero inoxidable y el aluminio.

El acero es el material estructural por excelencia para grandes alturas, puesto que resuelve con éxito los planteamientos estructurales de: soportar el peso con pilares de dimensiones reducidas, resistir el empuje ante el vuelco y evitar movimientos debidos a la acción del viento.

Por ese motivo se ha decidido realizar la estructura de acero.

El acero ordinario es el más empleado y existen los siguientes tipos (según la norma EN 10027):

S235JR	S235J0	S235J2
S275JR	S275J0	S275J2
S355JR	S355J0	S355J2

La primera sigla es una “S” (de Steel acero en inglés)

La siguiente cantidad numérica es el límite elástico en MPa

Las últimas siglas indican su sensibilidad a la rotura frágil y su soldabilidad:

- JR para construcciones ordinarias.
- J0 cuando se requiere alta soldabilidad y resistencia a la rotura frágil.
- J2 cuando se requiere exigencias especiales de resiliencia, resistencia a la rotura frágil y soldabilidad.

En España, excepto el S275JR todos los demás se suministran bajo pedido.

6.3.1 Características mecánicas del acero

Los valores fundamentales para el diseño de las piezas de acero son:

- El límite elástico. El límite elástico es la carga unitaria para la que se inicia la zona plástica, es decir a partir del cual las deformaciones no son recuperables.
- El límite de rotura. El límite de rotura es la carga unitaria máxima soportada por el acero en el ensayo de tracción.

Los valores del límite elástico y de rotura dependen del tipo de acero, pero hay otras características que son comunes para todos los aceros:

Módulo de Elasticidad: $E = 210 \text{ GPa}$

Módulo de Rigidez: $G = 81 \text{ GPa}$

Coefficiente de Poisson: $\nu = 0,3$

Coefficiente de dilatación térmica: $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$

Densidad: $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$

6.3.2 Características tecnológicas del acero

La *soldabilidad* es la aptitud de un acero para ser soldado mediante los procedimientos habituales sin que aparezca fisuración en frío. Es una característica tecnológica importante, de cara a la ejecución de la estructura.

La *resistencia al desgarro laminar* del acero se define como la resistencia a la aparición de defectos en piezas soldadas sometidas a tensiones de tracción en dirección perpendicular a su superficie.

La *aptitud al doblado* es un índice de la ductilidad del material y se define por la ausencia o presencia de fisuras en el ensayo de doblado.

6.3.3 Tipos de acero

Los siguientes tipos de acero utilizables en perfiles y chapas para estructuras de acero:

- *Aceros laminados en caliente*. Se entiende por tales los aceros no aleados, sin características especiales de resistencia mecánica ni resistencia a la corrosión, y con una microestructura normal.
- *Aceros con características especiales*. Se consideran los siguientes tipos:
 - a. aceros normalizados de grano fino para construcción soldada.
 - b. aceros de laminado termomecánico de grano fino para construcción soldada.
 - c. aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros autopatinables).
 - d. aceros templados y revenidos.
 - e. aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.

- *Aceros conformados en frío.* Se entiende por tales los aceros cuyo proceso de fabricación consiste en un conformado en frío, que les confiere unas características específicas desde los puntos de vista de la sección y la resistencia mecánica.

6.4 Perfiles metálicos

Hay una gran variedad de perfiles en el mercado actual, como sones IPN, IPE, HE, HEB, HEA, HEM, HL, perfiles cuadrados, perfiles rectangulares etc.

El proyecto se puede realizar con cualquier perfil mencionado anteriormente, pero los tubos estructurales soldados ofrecen grandes ventajas sobre los clásicos perfiles estructurales:

- Por su forma cerrada y bajo peso presentan un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo.
- Facilidad de montaje, permitiendo la realización de uniones simples por soldadura.
- Superficies exteriores reducidas, sin ángulos vivos ni rebabas, permitiendo un fácil mantenimiento y protección contra corrosión.
- Posibilidad de configuraciones de un aspecto mejor que los perfiles estandartes.
- Actualmente una gran oferta en la península Ibérica.

Por estos motivos se decidió realizar el proyecto mediante los perfiles tubulares.

6.4.1 Acabado superficial

El tratamiento superficial más usual que se aplica a este producto es el galvanizado en caliente, que da como resultado un material más resistente a la corrosión que elimina la necesidad de pintado posterior.

También es posible aplicarles un tratamiento de granallado y prepintado, a falta únicamente de una capa de pintura final del color deseado.

6.5 Medios de Unión

6.5.1 Uniones atornilladas

Los medios de unión contemplados son los constituidos por tornillos, tuercas, y arandelas que, deberán estar normalizados y corresponder a los mismos grados del material que unen: límite elástico y resistencia a tracción.

6.5.2 Uniones soldadas

Un acero se considera soldable según un grado, un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante la técnica apropiada se puede conseguir la continuidad metálica de la unión y ésta cumpla con las exigencias requeridas.

El material de aportación utilizable para la realización de soldaduras (electrodos) deberá ser apropiado para el proceso de soldeo, teniendo en cuenta al material a soldar y el procedimiento de soldeo; además deberá tener unas características mecánicas, en términos de límite elástico, resistencia a tracción, deformación bajo carga máxima, etc. no inferiores a las correspondientes del material de base que constituye los perfiles o chapas que se pretende soldar.

Métodos de soldadura:

- Soldadura manual con electrodo recubierto, con recubrimientos de tipo rutilo o básico.

- Soldadura semiautomática bajo protección gaseosa, con hilo macizo tubular relleno de flux, con transferencia de lluvia.
- Soldadura semiautomática con hilo tubular relleno de flux, sin protección gaseosa, con transferencia de lluvia.
- Soldadura automática con arco sumergido.

La unión entre piezas por soldadura presenta las siguientes ventajas:

- El tiempo de preparación es menor que en el caso de las uniones atornilladas.
- Las uniones prácticamente no se deforman y son estancas.
- Las uniones son más sencillas y tiene mejor apariencia.

A pesar de todo esto, emplear soldaduras requiere de precauciones a la hora de su ejecución en obra; llevarlas a cabo exige personal cualificado, los encargados de realizar estos trabajos deben llevar protección y deben cuidarse las soldaduras a la intemperie sobre todo en tiempos inclementes; toda su ejecución requiere de control de calidad.

6.6 Cimentación

En el caso de la cimentación no puede haber otra opción que hormigón armado. Se le da este nombre al hormigón simple y sumado más el acero de refuerzo, básicamente cuando tenemos elementos que trabajaran a compresión y a tracción (tensión). Existen varias categorías del hormigón como por ejemplo el hormigón postensado y hormigón pretensado, el hormigón armado está constituido por ventajas y desventajas que favorecen a la construcción de edificaciones; que a continuación se presentan:

Ventajas: (Mas importantes)

- Es una material con aceptación universal, por la disponibilidad de los materiales que lo componen.
- Tiene una adaptabilidad de conseguir diversas formas arquitectónicas.
- Tiene la característica de conseguir ductilidad.
- Posee alto grado de durabilidad.
- Posee alta resistencia al fuego. (Resistencia de 1 a 3 horas)
- Tiene la factibilidad de lograr diafragmas de rigidez horizontal. (Rigidez: Capacidad que tiene una estructura para oponerse a la deformación de una fuerza o sistema de fuerzas)
- Capacidad resistente a los esfuerzos de compresión, flexión, corte y tracción.
- La ventaja que tiene el hormigón es que requiere de muy poco mantenimiento

Desventajas:

- Las desventajas están asociadas al peso de los elementos que se requieren en las edificaciones por su gran altura, como ejemplo tenemos si las edificaciones tienen luces grandes o volados grandes las vigas y losas tendrían dimensiones grandes esto llevaría a generar mayor costo en la construcción de la edificación.

6.7 Arranque de pilar y placa de anclaje

6.7.1 Placa de anclaje

Son elementos estructurales que se utilizan para las uniones entre estructura metálica y la cimentación. El objetivo es hacer que la tensión que transmite la estructura al hormigón realice sin que en ningún punto se sobrepasen las tensiones admisibles en este material. Como el perfil metálico tiene un área de sección muy reducida por lo cual la tensión que transmite al hormigón es elevada. Por

ese motivo se utilizan placas de acero para que la transmisión de esfuerzos de uno a otro material sea lo más uniforme posible.

La placa de anclaje debe estar sujeta al cimiento mediante unos pernos de anclaje que quedan embebidos en el hormigón, y que al fraguar y endurecer éste trabajan por adherencia.

6.7.2 Arranque de pilar

La unión de la base de un pilar a la cimentación se materializa mediante las placas de anclaje (basas de soportes en CTE). Dependiendo de la configuración del detalle constructivo la base del pilar puede comportarse como rígida (Fig. 6.7.2.1), semirrígida (Fig. 6.7.2.2) o articulada (Fig. 6.7.2.3) al igual que el resto de uniones entre elementos de la estructura. Las funciones básicas son:

- Permitir la distribución de los esfuerzos de la base del pilar sobre la zapata.
- Para esfuerzos pequeños es posible empotrar directamente el pilar en la zapata.
- Para esfuerzos medios y altos se interpone una placa de acero montada sobre una capa de mortero, para su correcto nivelado, que se solidariza a la zapata mediante los denominados pernos de anclaje que pueden ir atornillados o soldados a la placa.
- Cuando los esfuerzos de tracción derivados del momento flector en la base son muy elevados es posible disponer durmientes metálicos embebidos en la zapata que ayudan a los pernos de anclaje a soportar tales solicitaciones.

La base del pilar rígida y semirrígida se encuentra más solicitada al aparecer el momento. Estos requieren cimentaciones de mayor volumen y por tanto más costosas. También uniones articuladas no tienen momento flector, que podría perjudicar la base de la estructura. Por estos motivos este proyecto se realizara con base articulada.

En realidad los apoyos no son articulaciones como tales sino apoyos con un pequeño grado de empotramiento difícilmente cuantificable y, a efectos prácticos, no suelen tenerse en cuenta en el cálculo. La materialización de la articulación resulta bastante más compleja.

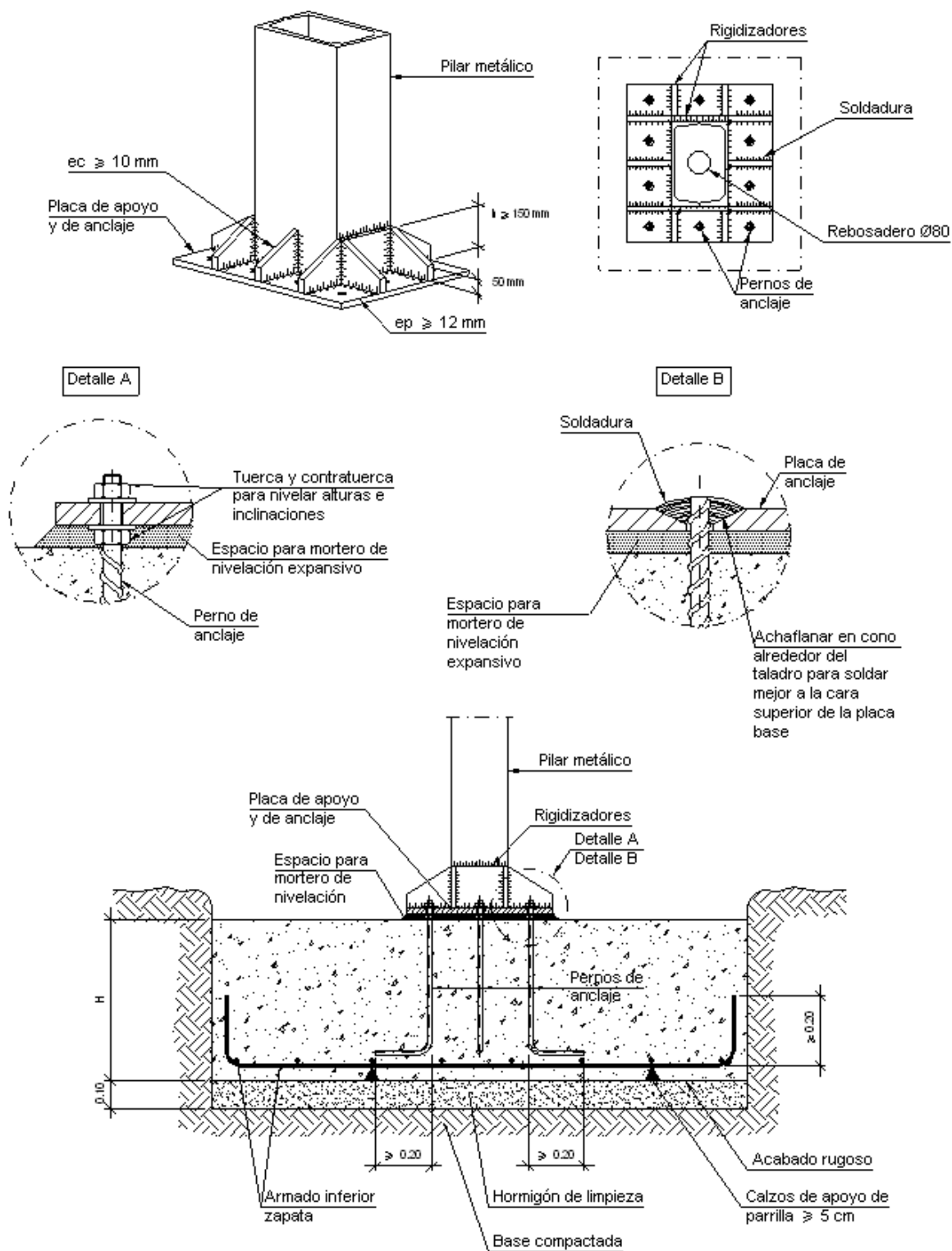


Fig. 6.7.2.1 Unión rígida

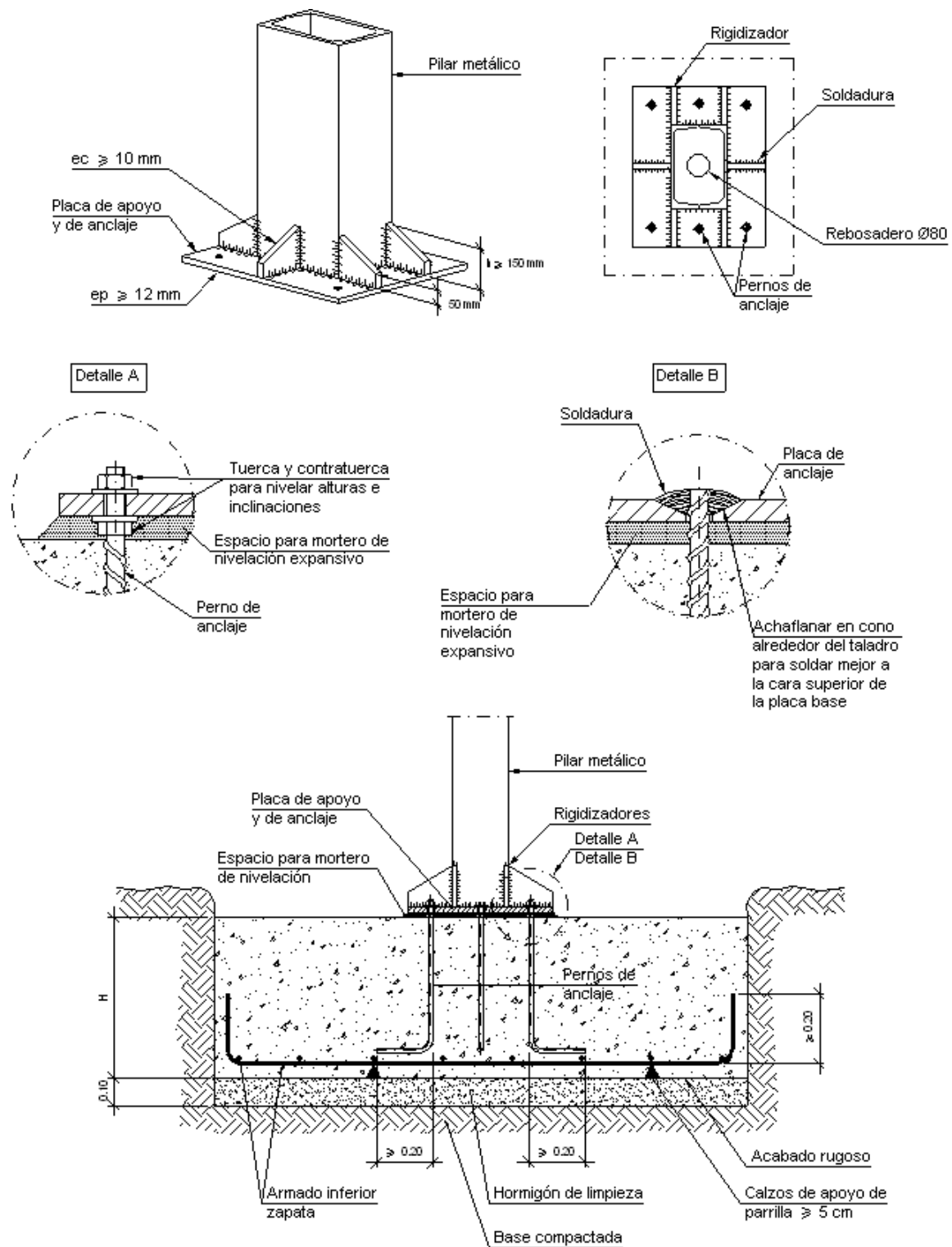


Fig. 6.7.2 Unión semirrígida

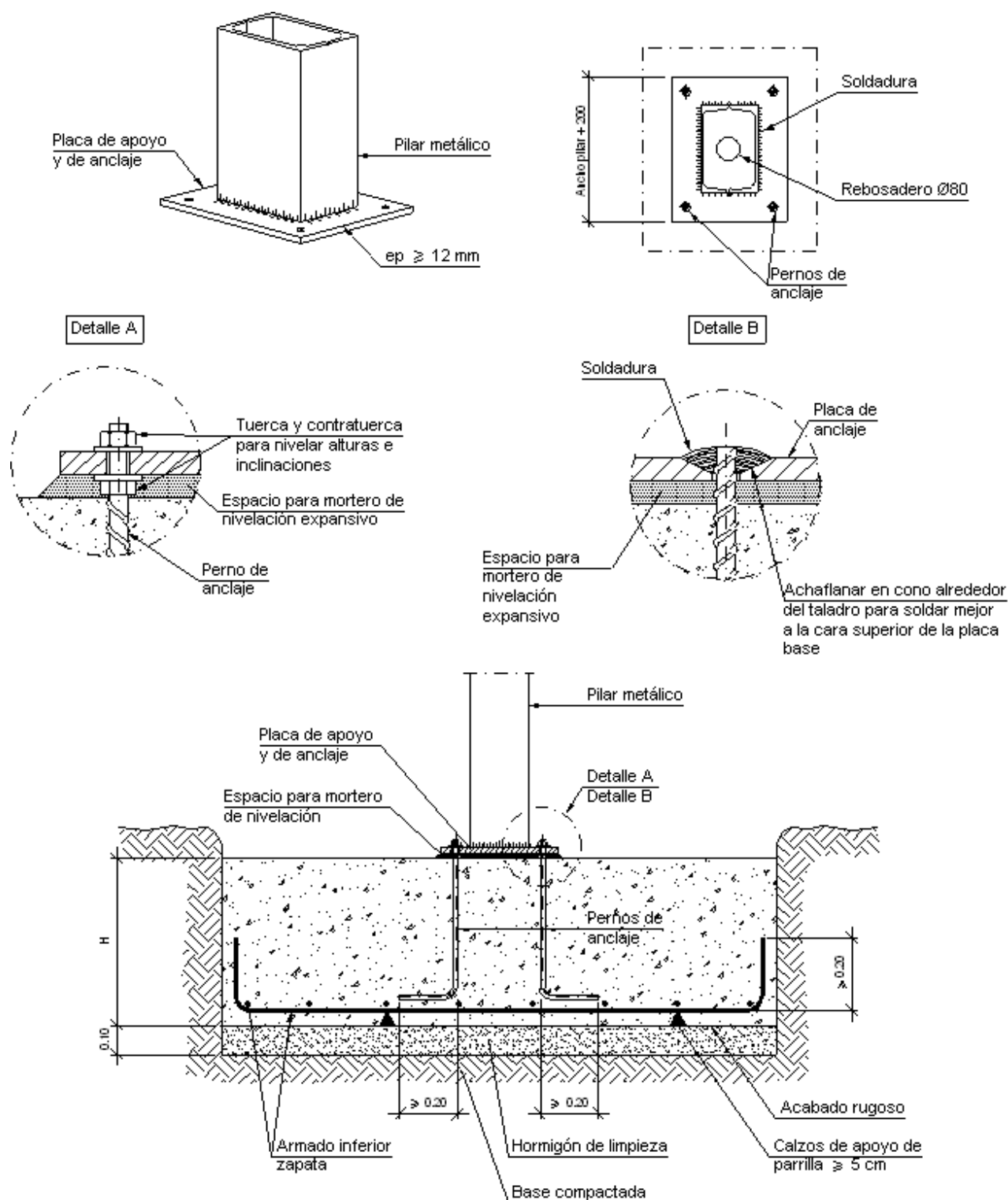


Fig. 6.7.3 Unión articulada

7. Cálculos

7.1 Cimentación

El terreno donde se apoya la estructura va determinado por la ubicación de la construcción, es decir, no se puede elegir el terreno donde queremos hacer la cimentación. Conocer las características de terreno es esencial para poder conseguir un buen fundamento. Toda la información necesaria nos proporciona un estudio geotécnico.

En función de tipos de terreno i de tipos de estructuras, las tipologías más habituales de fundamentos son los siguientes.

- Zapatas o fundamentación superficial aislada.
- Losas o fundamentación superficial continua.
- Pilote o fundamentación profunda aislada.

La elección de tipos de fundamento depende de la profundidad de estado resistente del terreno respecto de la cota inferior de la construcción, es decir, la capta de terreno con resistencia suficiente para resistir las cargas de la estructura:

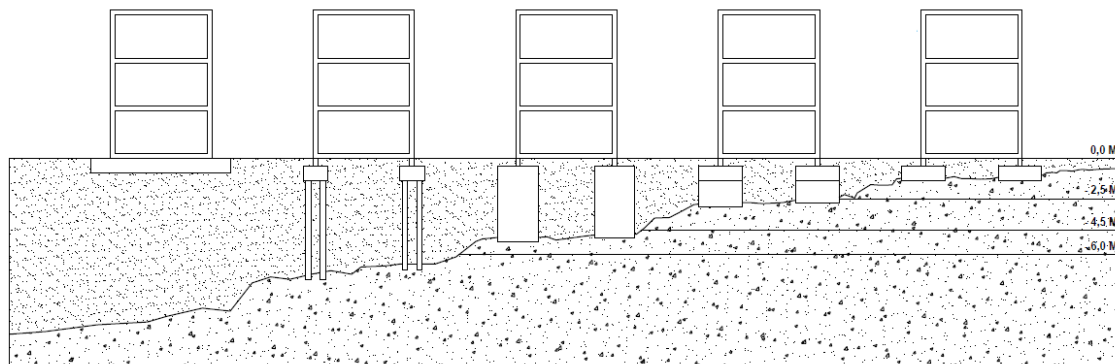


Fig. 7.1.1 Tipos de fundamento según de la profundidad de estado resistente

El fundamento superficial a base de zapatas aisladas, es adecuado cuando el estado resistente se encuentra a una profundidad no superior a 2,5m.

Cuando el estado resistente se encuentra a una profundidad superior a 2,5m pero inferior o igual a 6m. En este caso es más habitual utilizar fundamentos tipo semi-profundo.

La fundamentación profunda mediante pilote, se utiliza cuando el estado resistente se encuentra a una profundidad superior a 6m.

La losas de fundamentación, o fundamentación superficial continua, es habitual utilizar en casos en el que el estado resistente se encuentra a una profundidad superior a 6m pero sus características resistentes son lo suficientemente buenos como para permitir este tipo de fundamentos.

Se puede estudiar todos los casos separados, pero por el escases del tiempo dedicado al proyecto y por no desviarse mucho de los objetivos principales, sólo se estudiara el caso más genérico, es decir, zapatas aisladas con la carga central.

7.1.1 Zapata aislada

Los pilares de las estructuras metálicas se acostumbran cimentar mediante zapatas aisladas unidas mediante una viga de atadura. En la mayoría de los casos, por razones de facilitar la construcción y no

elevar los precios, se diseñan zapatas cuadradas y centrada en el eje del pilar. En este trabajo se realizara cálculos de este tipo de zapata.

En primer lugar se definen las fórmulas que permiten determinar el valor de la tensión en el terreno, de lo cual dependerá las medidas de la zapata y la verificación de la seguridad de la volcada y al deslizamiento.

Después de determina la tensión del terreno se calculara las dimensiones y la estabilidad de la zapata. Finalmente se calculara dimensiones de la armadura de la zapata

7.1.2 Tensiones en el terreno, comprobación a hundimiento

La distribución de presiones del terreno debajo de la zapata dependerá del tipo de suelo y de rigidez de la zapata. En la siguiente figura se muestra la distribución de presiones debajo de una zapata.

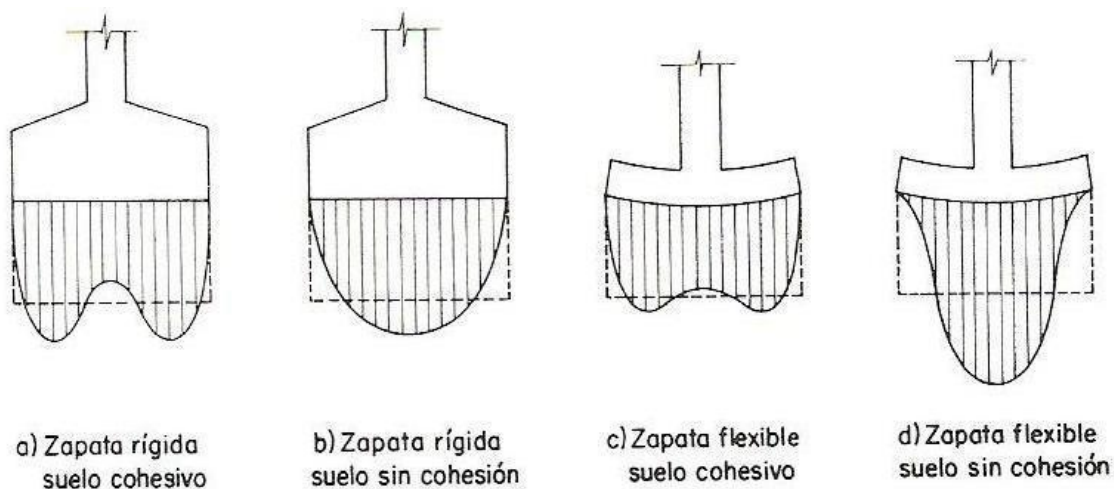


Fig. 7.1.2.1 Distribución de la tensión

En la práctica, para evitar cálculos complejos, se adoptan distribuciones uniformes o lineales.

La distribución de presiones será necesaria para comprobar, que no supere la tensión máxima admisible del terreno y para calcular los esfuerzos de la zapata. La tensión admisible del terreno es la tensión máxima que puede soportar el terreno, cual se determina mediante un estudio geotécnico antes de empezar los cálculos de la cimentación.

En el caso cuando en la zapata solo actúa un esfuerzo normal, la compresión que se transmite al terreno será uniforme. Por lo tanto la tensión que realiza el terreno para soportar la compresión de la carga aplicada, también será uniforme, tal como se muestra en la figura.

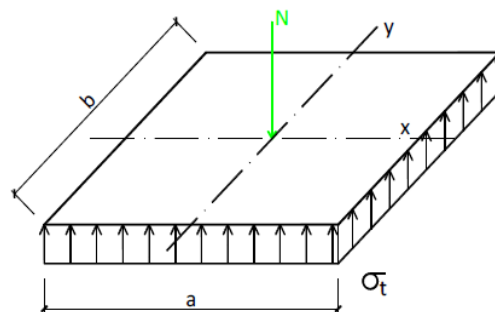


Fig. 7.1.2.2 Distribución de la tensión

La tensión del terreno (σ_t) ha de ser menor o igual que la tensión admisible:

$$\sigma_t = \frac{N}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm}$$

Cuando a la base de la zapata se le aplica una compresión compuesta simétrica, es decir, un solo momento en el eje Y, la distribución de tensión puede ser o trapezoide o triángulo, como se muestra en la figura.

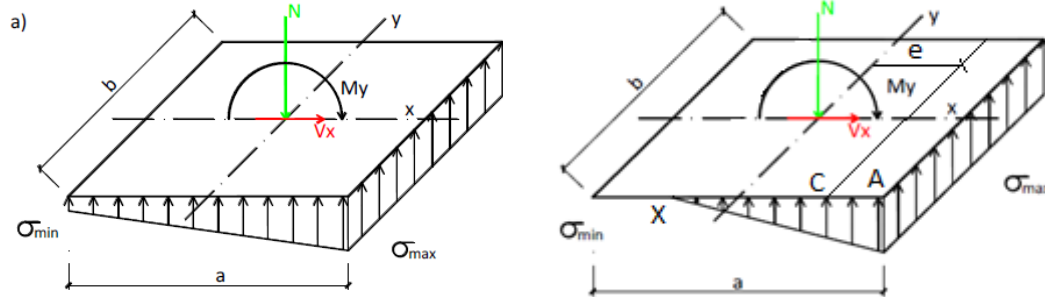


Fig. 7.1.2.3 Compresión compuesta simétrica

En el caso de la distribución trapezoidal toda la base de la zapata trabaja a compresión.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{a \cdot b} + \frac{M_y \cdot a}{2 \cdot I_y}$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = \frac{N}{a \cdot b} - \frac{M_y \cdot a}{2 \cdot I_y}$$

A cambio de distribución trapezoidal cuando tenemos distribución triangular hay una parte de zapata que trabaja a tracción. Como no puede haber tracción entre el hormigón y el terreno se acepta que se produce una redistribución de tensiones de forma que se produzca un equilibrio de esfuerzos.

$$N = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} \cdot AX}{2} \cdot b$$

$$AC = \frac{AX}{3} = \frac{a}{2} - e$$

$$AX = 3 \cdot \frac{a}{2} - 3 \cdot e$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{4 \cdot N}{3 \cdot (a - 2 \cdot e) \cdot b}$$

Cuando a la base de la zapata se le aplica una compresión compuesta asimétrica, es decir, dos momentos (respecto eje X e Y), la distribución puede ser trapezoidal en todos los lados o triangular y trapezoidal.

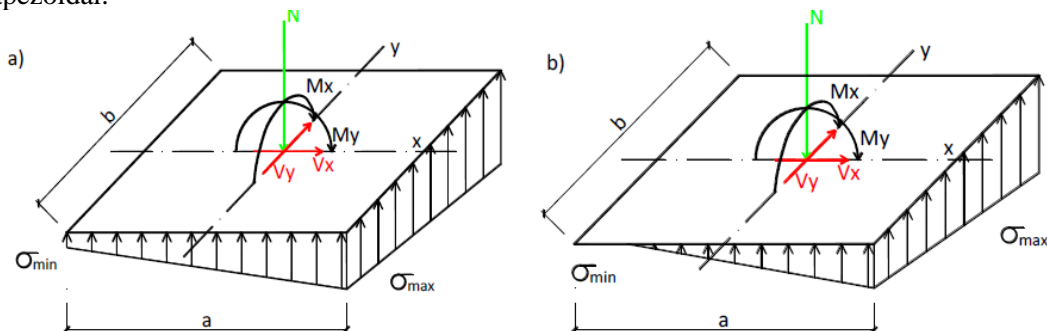


Fig. 7.1.2.4 Compresión compuesta asimétrica

En el caso de la distribución trapezoidal en todos los lados la base de la zapata trabaja a compresión

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{a \cdot b} + \frac{M_x \cdot b}{2 \cdot I_x} + \frac{M_y \cdot a}{2 \cdot I_y}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{a \cdot b} - \frac{M_x \cdot b}{2 \cdot I_x} - \frac{M_y \cdot a}{2 \cdot I_y}$$

En todos los casos deberá cumplir $\sigma_{\max} \leq 1.25 \cdot \sigma_{adm}$.

7.1.3 Cálculo de dimensiones de una zapata aislada

Para determinar las dimensiones de la zapata se partirá de las condiciones que debe cumplir el fundamento, para que al transmitir tensiones al terreno, pueda trabajar con toda su superficie y evitando hundimientos.

Las medidas para definir son los dos lados de la zapata y su canto (alzada), como se muestra en la figura

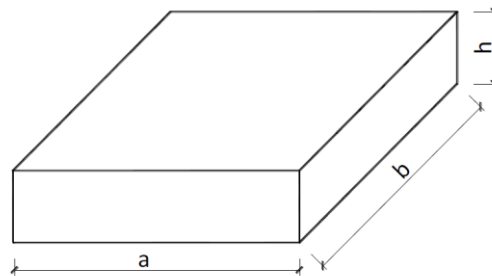


Fig. 7.1.3.1 Dimensiones a determinar de una zapata

En el caso más sencillo el pilar transmite a la zapata sólo el esfuerzo normal, pero también hay que tener en cuenta el peso propio de la zapata y del terreno que se encuentra sobre la zapata, como se puede observar en la figura

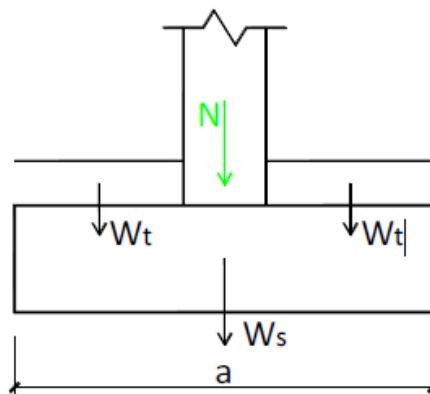


Fig. 7.1.3.2 Esquema de acción normal sobre la zapata

El peso propio de la zapata se calcula mediante siguiente formula:

$$W_s = \rho_c \cdot a \cdot b \cdot h$$

Dónde:

ρ_c es el peso propio del cemento

a,b y h son datos incógnitos de la zapata

Como en este caso la zapata es superficial, entonces el peso de terreno sobre la zapata será nulo.

Para verificar la tensión sobre el terreno se realiza el siguiente cálculo:

$$\sigma_t = \frac{N + \rho_c \cdot a \cdot b \cdot h}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm_{tereno}}$$

En esta ecuación hay tres incógnitas, para poder resolver el problema deben imponerse algunas condiciones sobre el canto. Este debe ser suficiente como para anclar los pernos de anclaje. Es recomendable no disponer de cantos inferiores a 60 cm, también se ha comentado anteriormente que la zapata será cuadrada ($a=b$). Teniendo en cuenta dichas condiciones ya se puede calcular las dimensiones de cimentación para que toda la zapata trabaje a compresión.

En el caso cuando la zapata recibe un esfuerzo normal y un momento, las ecuaciones a resolver para que el cimiento tenga las medidas adecuadas sin ser hundido son los siguientes:
La tensión mínima debe ser mayor o igual a 0:

$$\sigma_{mín} = \frac{N + \rho_c \cdot a \cdot b \cdot h}{a \cdot b} - 6 \cdot \frac{M_x + V_y \cdot h}{a \cdot b^2} \geq 0$$

Y la tensión máxima no debe superar a 1,25 veces la tensión admisible del terreno:

$$\sigma_{máx} = \frac{N + \rho_c \cdot a \cdot b \cdot h}{a \cdot b} + 6 \cdot \frac{M_x + V_y \cdot h}{a \cdot b^2} \leq 1,25\sigma_{adm}$$

Siempre que la tensión en el centro de gravedad sea inferior o igual a σ_{adm} :

$$\sigma_{c.deg.} = \frac{N + \rho_c \cdot a \cdot b \cdot h}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm}$$

También solucionar de la misma manera el caso cuando sobre la zapata actúan compresiones compuestas asimétricas, es decir, una fuerza normal y dos momentos en los ejes x e y. las ecuaciones para comprobar son las siguientes:

La tensión mínima debe ser mayor o igual a 0:

$$\sigma_{mín} = \frac{N + \rho_c \cdot a \cdot b \cdot h}{a \cdot b} - 6 \cdot \frac{M_x + V_y \cdot h}{a \cdot b^2} - 6 \cdot \frac{M_y + V_x \cdot h}{a^2 \cdot b} \geq 0$$

Siempre que la tensión en el centro de gravedad sea inferior o igual a σ_{adm} :

$$\sigma_{máx} = \frac{N + \rho_c \cdot a \cdot b \cdot h}{a \cdot b} + 6 \cdot \frac{M_x + V_y \cdot h}{a \cdot b^2} + 6 \cdot \frac{M_y + V_x \cdot h}{a^2 \cdot b} \leq 1,25\sigma_{adm}$$

Siempre que la tensión en el centro de gravedad sea inferior o igual a σ_{adm} :

$$\sigma_{c.deg.} = \frac{N + \rho_c \cdot a \cdot b \cdot h}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm}$$

Uno de los problemas que se debe preocuparse, es que la zapata no deslice, por tanto debe ser lo suficientemente grande para que no deslice. Se considera que la cimentación no desliza si

$$\frac{(N + W) \cdot \tan \varphi_d}{V} \geq 1.5$$

Dónde:

V Esfuerzo cortante en la dirección del eje el que se está verificando

$N + W$	Esfuerzo de compresión transmitida por la zapata
$\varphi_d = \frac{2}{3} \varphi$	Siendo φ el ángulo de rozamiento interno del terreno
a y b	Son las medidas de la zapata

Como ya se ha dicho en el apartado anterior [6.7.2 Arranque de pilar](#) se trata de unión articulada, por lo tanto solo se tendrá en cuenta la acción de fuerza normal sobre la zapata. La fuerza normal que actúa sobre la zapata es el peso propio de la estructura más la carga de vehículos.

El peso total de la estructura con el mecanismo y el motor es de 30720Kg y para calcular la carga variable (vehículos) se estudiará el caso crítico cuando el estacionamiento está completo y todos los coches tienen el peso máximo indicado anteriormente (2100Kg). Por lo tanto el peso variable es de 21000Kg. Entonces sobre cada zapata actuará un peso máximo de 12930Kg.

$$\frac{12930 + 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot a^2 \cdot 60}{a^2} \leq \frac{2}{1,25}$$

$$a \geq 94,23 \text{ cm}$$

Como es imposible construir una zapata con precisión milimétrica, por eso motivo el costado de zapata será de 100 cm.

$$a = 100 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

Se puede decir con total seguridad de la zapata no desliza ya que no tiene esfuerzos cortantes.

7.1.5 Capacidad estructural

Una vez conociendo las dimensiones de la zapata, debería de determinar si se trata de una zapata flexible o rígida para conocer el sistema a seguir a la hora de calcular la armadura.

Según la EHE, la zapata será flexible si cumple: $v_{m\acute{a}x} > 2h$. La armadura se debería de estudiar como si tratara de una viga en voladizo.

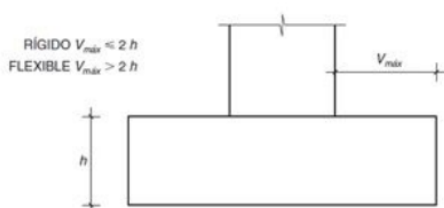


Fig. 7.1.5.1 Zapata aislada

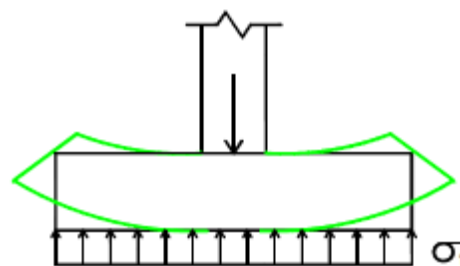


Fig. 7.1.5.2 Zapata flexible

A cambio, en la zapata rígida, las presiones se reparten de manera uniforme en toda la armadura de la zapata. Este tipo de zapatas verifican: $v_{m\acute{a}x} \leq 2h$. Se aplicara el modelo de bielas y tirantes. Como se puede observar en la figura en las bielas se produce compresión y a las tirantes tracción.

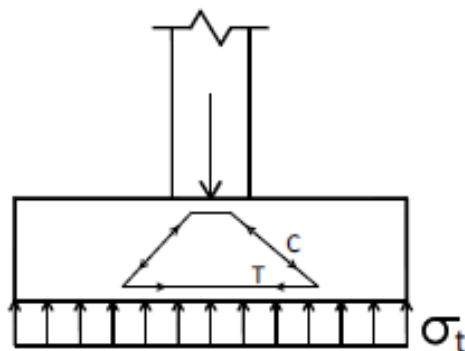


Fig. 7.1.5.3 Zapata rígida

7.1.6 Cálculo numérico y dimensionamiento de la zapata

Para poder determinar si se trata de una zapata rígida o flexible primero se ha de dimensionar las medidas de la zapata, ya que según el caso el cálculo de la armadura será totalmente diferente. Los esfuerzos que actúan sobre la base de la zapata se determinarán mediante cálculos anteriores de la estructura que se ha realizado. Como el pilar de 20x20 cm se puede decir que $v = 80\text{cm}$, es menor de 120cm, que es dos veces el canto de la zapata. Así que se trata de una zapata rígida.

7.1.7 Cálculo de una zapata rígida

Para conocer la armadura necesaria de este elemento se aplicará un modelo de bielas y tirantes. Este modelo consiste en sustituir, de forma matemática, la zapata por una estructura de barras articuladas que representa su comportamiento. Las bielas son las barras comprimidas y representan la compresión del hormigón. En cambio, los tirantes son las barras que trabajan a tracción y representan las fuerzas a tracción de la armadura. La zona donde intersecan los campos de compresiones o las tracciones de los tirantes se llama nodos.

El modelo deberá establecer un equilibrio entre las acciones exteriores, es decir, las acciones transmitidas por la estructura (N) y la reacción del terreno.

La comprobación de los Estados Límite Últimos para las distintas combinaciones de acciones queda verificada cuando se cumplen las condiciones de las bielas, los tirantes y los nudos. También se controla la fisuración a partir de algunas limitaciones.

La sección que se utiliza como referencia para el cálculo de la flexión existente es plana, perpendicular a la base de la zapata, tiene en cuenta la sección total del zapato y es paralela a la cara del pilar.

Se sustituye la carga y el momento por dos fuerzas situadas en el centro de gravedad de las dos mitades del pilar.

$$N_{1d} = \frac{N_d}{2} + \frac{M_d}{a'/2}$$

$$N_{2d} = \frac{N_d}{2} - \frac{M_d}{a'/2}$$

Se calculan las reacciones del terreno suponiéndolas concentradas en el c.d.g. de las dos mitades de la zapata.

$$T_d = \frac{R_{1d}}{0.85 \cdot d} \cdot x_1$$

Siendo x_1 la posición del centro de gravedad del bloque de tensiones:

En el nuestro caso como no tenemos momento flector en la base, es:

$$x_1 = \frac{a}{4} = 25 \text{ cm}$$

Y R_{1d} la resultante de dicho bloque de tensiones:

$$R_{1d} = \frac{N + \rho_c \cdot a^2 \cdot h}{2} \cdot g = 71850 \text{ N}$$

$$d = h - 5 = 60 - 5 = 55 \text{ cm}$$

$$T_d = \frac{71850}{0,85 \cdot 55} \cdot 25 = 38422,45 \text{ N}$$

Por tanto el área de acero vendrá dada por:

$$A_s = \frac{T_d}{f_{yd}} = \frac{38422,45}{\frac{500}{1,25}} = 96,06 \text{ mm}^2$$

Aunque la normativa actual exige una cuantía mínima de acero por sección de zapata (2000 mm^2).

$$A_s = 2000 \text{ mm}^2$$

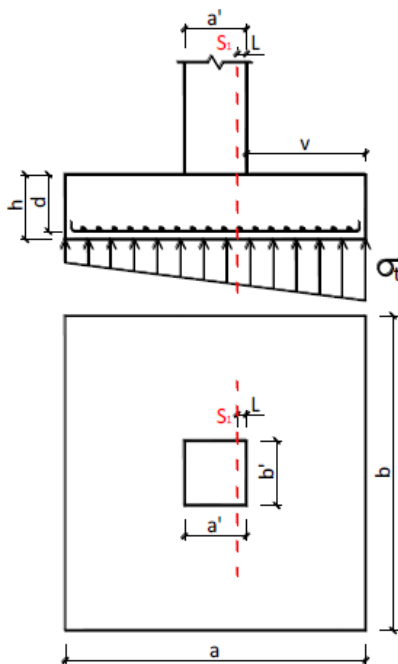


Fig. 7.1.7.1 Sección S_1

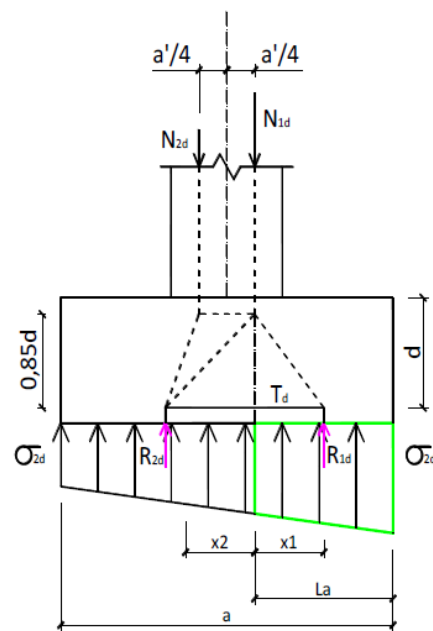


Fig. 7.1.7.2 Modelo de Biela y tirante para zapata rígida

7.2 Cálculo y diseño de la cesta

7.2.1 Método de elementos finitos

Antes de empezar a explicar el diseño y el cálculo de la cesta, primero se debe aclarar en qué consiste el método de elementos finitos. Como la realidad no se puede representar de forma totalmente exacto, y es por eso que existen diferentes técnicas que lo que hacen es aproximar el comportamiento. Para poder estudiar una pieza real, hay que discretizar el medio continuo, es decir, hay que dividir el objeto de estudio o la pieza en varios trozos más pequeños. Para llevar esto a término, se usará el programa ANSYS, mediante el cual se construirá un modelo discreto que aproximará el máximo posible la realidad.

Esta discretización se basa en el Método o Modelo de Elementos Finitos, que en nuestro caso tiene como objetivo final de estudio el análisis de las tensiones y deformaciones que aparecen en la pieza estudiada, así como los puntos críticos y las tensiones en estos. Para llevar esto a cabo. Cada elemento tendrá un número concreto de nodos, de los cuales se estudiará el comportamiento al aplicar la tensión determinada.

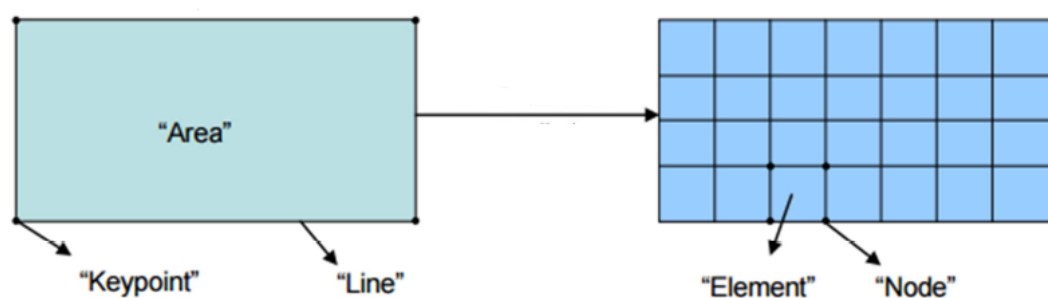


Fig. 7.1 Discretización de superficie

En considerarse el análisis de la cesta solo necesitamos 2 tipos de elementos: el elemento barra (Beam 2 node 188, Beam 3 node 189) y elementos tipo chapa (Shell 4 node 181, Shell 8 node 281), ya que toda la estructura de la cesta se puede analizar mediante barras y chapas.

Beam 188 y Beam 189 es adecuado para analizar estructuras de viga delgadas a moderadamente gruesas. El elemento se basa en la teoría de la barra de Timoshenko, que incluye efectos de deformación por cizallamiento. El elemento proporciona opciones para la deformación sin restricciones y deformación contenida de secciones transversales. Es un elemento de barra lineal, cuadrático o cúbico de dos nodos en 3D en el caso de Beam 188 o tres nodos en 3D en Beam 189. Elemento Beam 188 y 189 tiene seis grados de libertad en cada nodo. Estos incluyen translaciones en las direcciones x, y, y z y rotaciones alrededor de las direcciones x, y, z. Este elemento es adecuado para aplicaciones lineales, de gran rotación y / o de gran deformación no lineal.

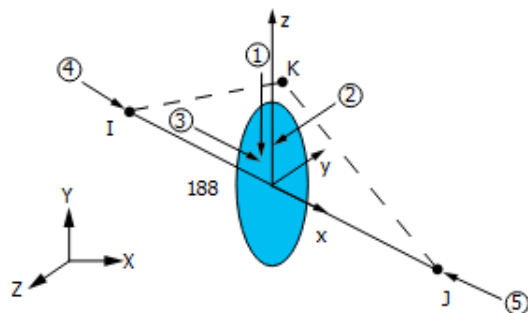


Fig. 7.2 Beam 188 2 nodos

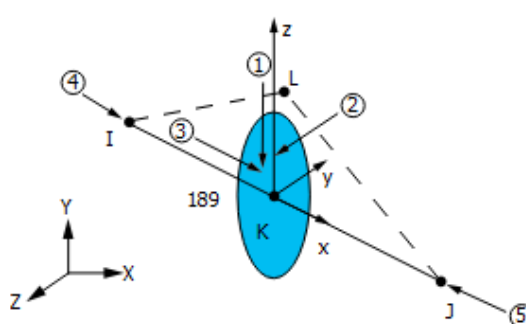
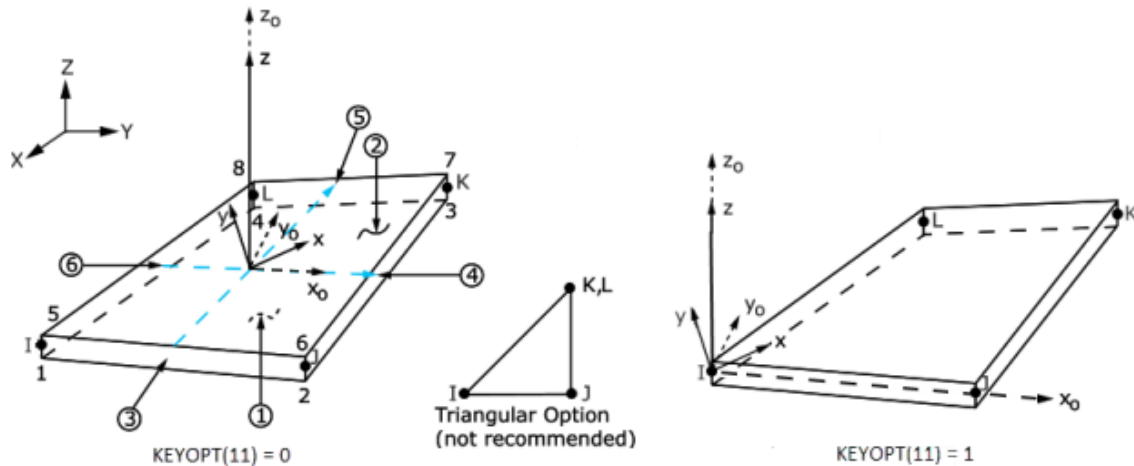
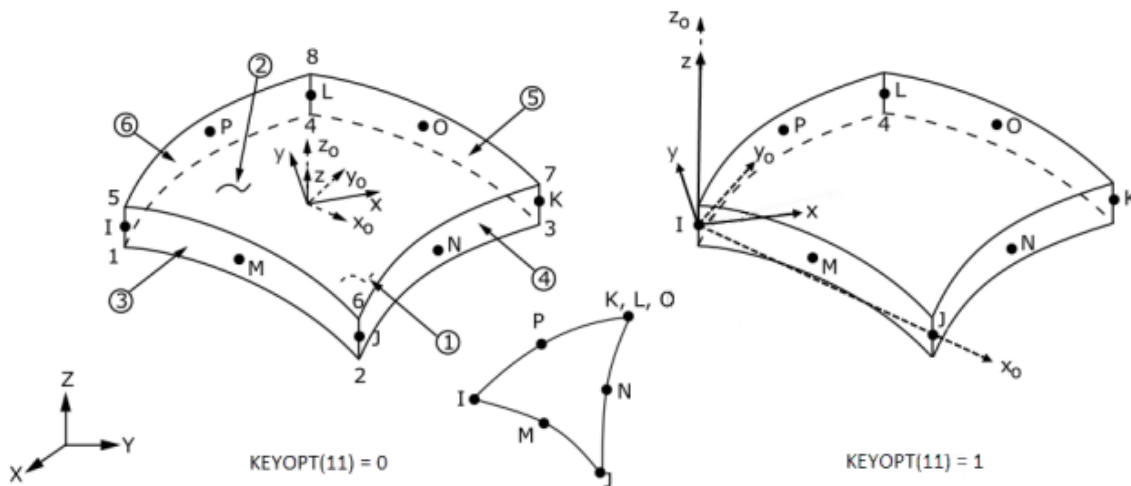


Fig. 7.3 Beam 189 3 nodos

Shell 181 y Shell 281 es adecuado para analizar estructuras de chapas delgadas a moderadamente gruesas. El 181 es un elemento de cuatro nodos con seis grados de libertad en cada nodo: translaciones en las direcciones x , y y z y rotaciones alrededor de los ejes x , y y z .



Mientras que, el Shell 281 o elemento de 8 nodos se caracteriza por interpolar de forma cuadrática el desplazamiento y por tanto se puede adaptar mucho mejor. La principal ventaja es que tiene más precisión en los desplazamientos y no presentan distorsión angular, por ese motivo el tipo de elemento que se trabajara para chapas es Shell 281.



7.2.2 Unidades de medida

Durante la introducción de los datos en el ANSYS, en ningún momento se definen las unidades de medida, por lo que hay que ser congruente con las unidades que se anotan. Por ejemplo si se trabaja en las unidades de medida internacional, las resultados de salida son o números demasiado grandes o demasiado pequeños (tensión de orden de 10^{11} y deformaciones de orden 10^{-4}). Por este motivo es conveniente utilizar las siguientes unidades de medida

Magnitud	Unidades
Peso	T (Tonelada)
Longitud	mm (milímetro)
Superficie	mm ² (milímetro cuadrado)
Volumen	mm ³ (milímetro cubico)
Tiempo	ms (milisegundo)
Fuerza	N (newton)
Presión	MPa (Megapascuales)
Tensión	MPa (Megapascuales)
Energía	N·mm
Potencia	N·mm/ms
Densidad	T/mm ³
Módulo de Young	MPa (Megapascuales)
Gravedad	mm/ms ²

7.2.4 Condiciones de contorno

En cuanto a las condiciones de contorno, hay que decir que son uno de los aspectos más complicados o esenciales de la simulación, ya que tienen un papel vital a la hora de encontrar una solución que se adapte a la realidad. Es decir, si las condiciones de contorno son precisas y exactas obtendrá un resultado próxima a la realidad, pero de lo contrario la solución de la simulación diferirá notablemente del estado final real. En este caso hay dos zonas de gran importancia donde habrá que analizar las condiciones de contorno a aplicar. En primer lugar, hay que fijar los desplazamientos de algunos puntos de la barra de soporte, y en segundo lugar hay que aplicar una fuerza determinada en los puntos donde supuestamente estarán las ruedas del coche.

En cuanto la primera condición de contorno, se decidió fijar los dos extremos de la barra soporte en All DOF, es decir, fijar todos los desplazamientos y todas las rotaciones. De este modo se considera dos barras inmovilizadas sin experimentar ninguna deformación.

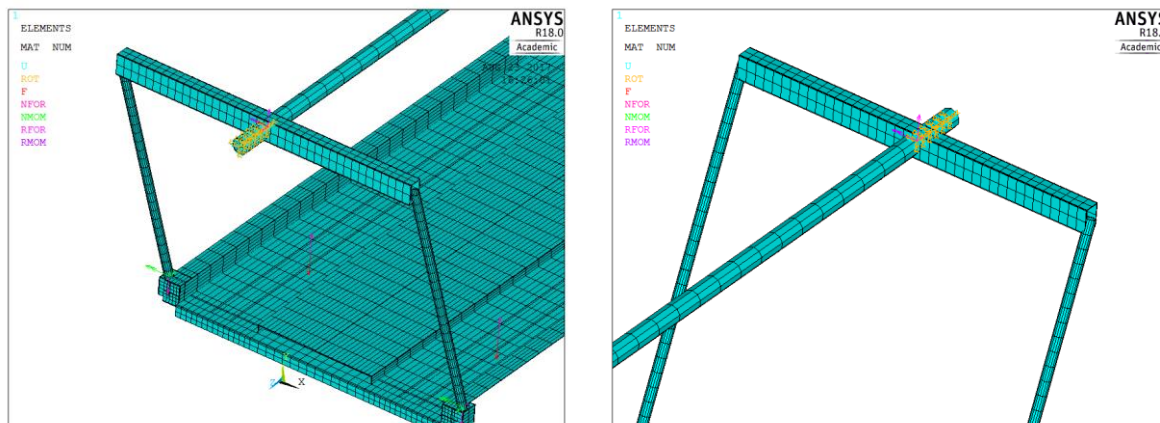


Fig. 7.2.4.1 Condiciones de contorno

Mientras que, la segunda condición es aplicar el peso del coche. Se reparte la fuerza en cinco nodos en cada punto. En los puntos 1 y 2 1260N en cada nodo, en total 6300N en cada punto, y en los puntos 3 y 4, de igual forma que en los puntos 1 y 2, también se divide en cinco nodos, pero esta vez en cada nodo se aplica una fuerza de 840N, ya que en la eje delantera del coche el peso es mayor.

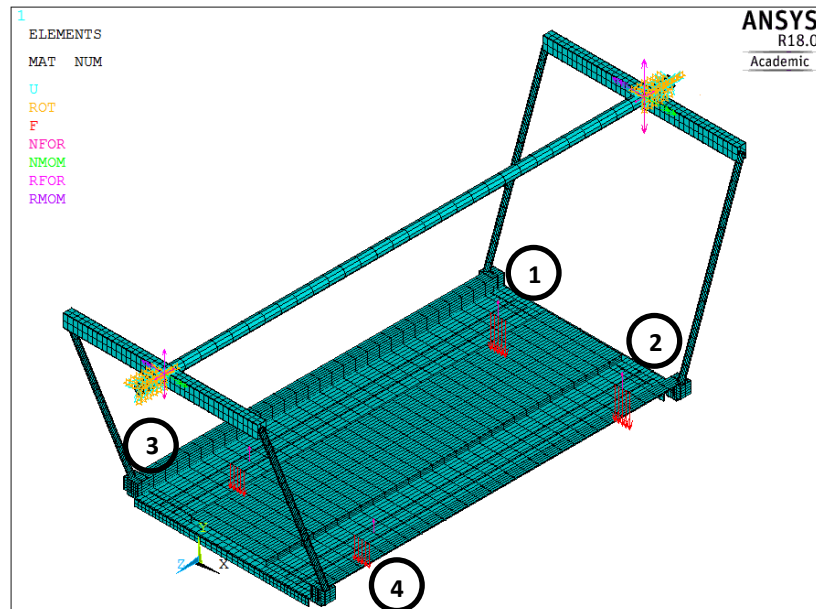


Fig. 7.2.4.2 Aplicación de la fuerza

7.2.3 Idealización del modelo

Cuando se lleva a cabo la simulación es esencial y necesario realizar ciertas idealizaciones del modelo, para poder explicar de forma virtual el comportamiento de la cesta. Ahora bien, todas las idealizaciones que se lleven a cabo en el modelo deben hacerse en aquellos aspectos que no afectarán a los resultados obtenidos o por lo menos, que no les hagan alejarse sustancialmente de la realidad y sigan siendo válidos. Algunas de estas idealizaciones son las condiciones de contorno del modelo, tanto desplazamientos como fuerzas aplicadas, el mallado o discretización de la pieza en el modelo y asumir propiedades homogéneas e isotrópicas a lo largo de toda la barras estructurales, entre otros.

Por ejemplo para realizar el modelo se han hecho simplificaciones en el diseño. Se eliminó el tope de las guías pasadoras, y la parte de chapas que queda fuera de los soportes, ya que no perjudicaban a la correcta simulación.

En cuanto a las condiciones de contorno explicadas anteriormente, también se han realizado ciertas idealizaciones. En primer lugar, al fijar rotaciones en el eje z, que no es cierto, ya que la cesta tiene rotaciones respecto al eje z.

La otra idealización ha sido suponer que la fuerza aplicada es una fuerza linealmente repartida, pero en realidad es una presión.

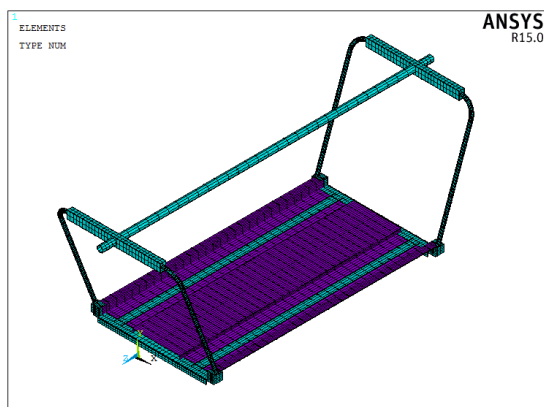


Fig. 7.3.1 Modelo de la cesta A

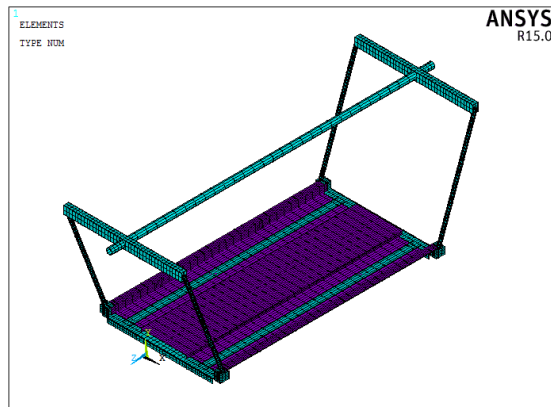


Fig. 7.3.2 Modelo de la cesta B

7.2.4 Resultados obtenidos

A continuación, una vez realizado las condiciones de contorno y mallado que parece ser más adecuado, hay que encontrar la solución del modelo y analizar los resultados, así como su fiabilidad. Uno de los objetivos principales del proyecto es determinar la zona donde se producirá la falla elástica, es decir, los puntos donde el material dejará de comportarse elásticamente y pasará a comportarse de forma plástica, sin recuperar la forma inicial, este puntos se denominan puntos críticos. Se sabe que esta falla se producirá justo cuando en una zona de la pieza la máxima tensión aplicada sea superior el límite elástico de ese material, en la mayoría de material esto no implica que este rompa, sino que básicamente quedará deformado de forma permanente. El programa ANSYS nos permite ver las diferentes tensiones en cada elemento del mallado a partir de las tensiones equivalentes de Von Mises.

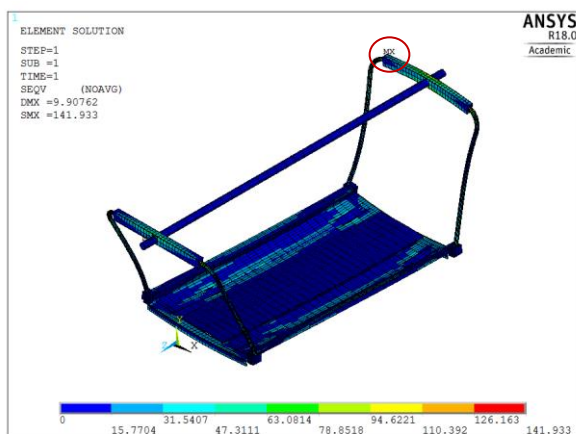


Fig. 7.2.4.1 Tensión Von Mises cesta A

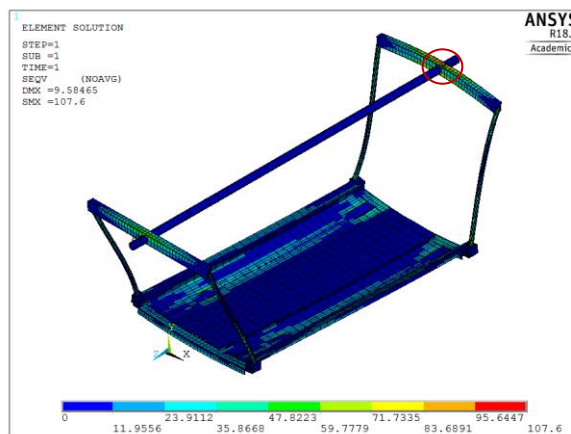


Fig. 7.2.4.2 Tensión Von Mises cesta B

Comparando los dos diseños se puede ver que la tensión máxima varía su posición y valor. En el primer caso se obtiene una tensión máxima de 141,93MPa, a cambio la cesta B con las mismas condiciones de contorno tiene un valor significativamente más pequeño 107,6MPa (Fig. 7.2.4.3). Es más, en el caso de la cesta A la tensión máxima está en un punto crítico, ya que es el punto de soldadura de dos perfiles.

En resumen, la cesta B tiene mejores especificaciones que la cesta A, es por esto que a partir de ahora solo se analizaran los resultados de la cesta B, como la definitiva.

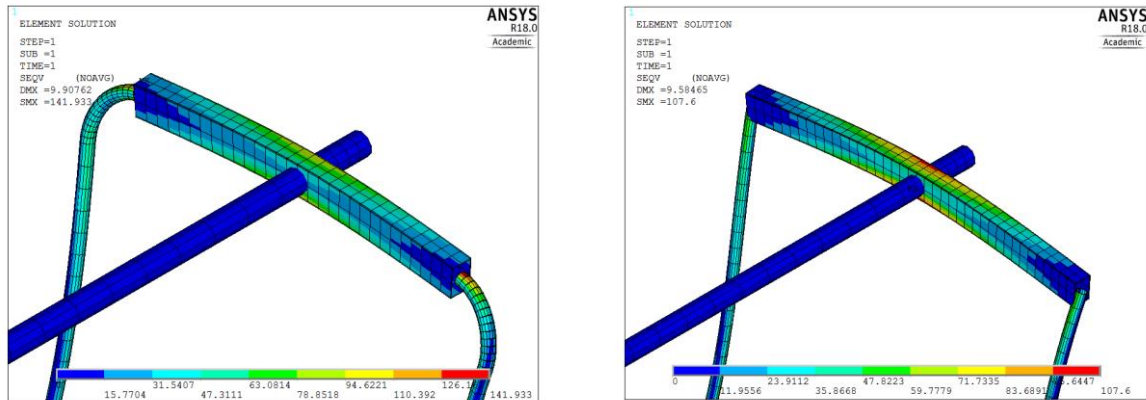


Fig.7.2.4.3 Tensión máxima de Von Mises

Finalmente hay que analizar los desplazamientos máximos que se han producido en el modelo al aplicar la carga de un coche, entendiendo siempre que estamos dentro del rango de comportamiento elástico del material y que por tanto recuperará la forma inicial completamente. Cabe destacar, que se han realizado los cálculos de forma lineal, y por tanto, considerando que la fuerza se ha aplicado de golpe. Mientras que en la realidad esta fuerza se aplica de manera no lineal o progresiva.

El programa ANSYS nos muestra un diagrama vectorial donde se aprecia el desplazamiento que ha sufrido cada punto en aplicar la fuerza dada. Se observa claramente que los desplazamientos obtenidos son bastante pequeños en comparación con las dimensiones de nuestro modelo, ya que no llegan ni a la orden de un centímetro (9.38 mm)

Este estado de deformación nos permite afirmar que la simulación virtual del comportamiento del modelo al someterlo a una fuerza concreta es válida.

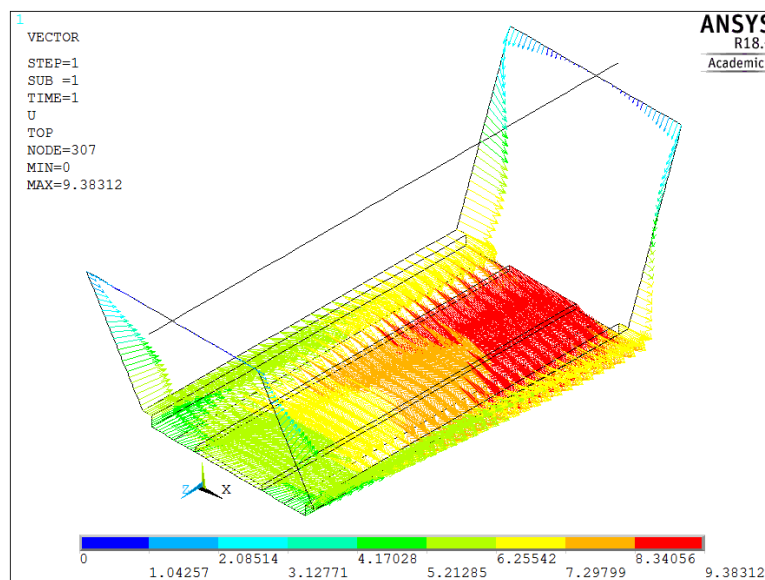


Fig. 7.2.4.4 Diagrama de desplazamientos

En la figura 7.2.4.5 se puede ver el desplazamiento a escala real, donde en líneas discontinuas es el modelo sin carga y en color azul es el modelo desplazado con la máxima carga permitida. Afirmando otra vez que el modelo es viable.

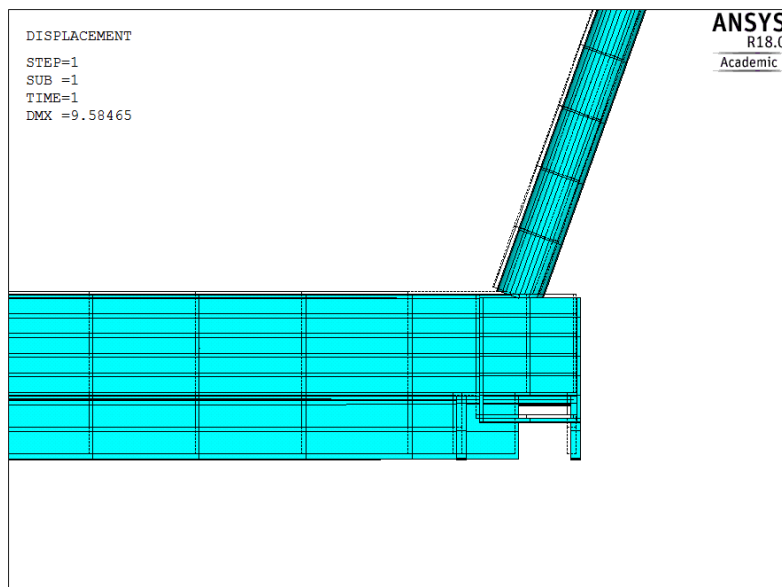


Fig. 7.2.4.5 Desplazamiento a escala real

7.2.5 Criterio de la falla

Como ya se ha comentado anteriormente, el acero es el material que se usará para construir la cesta, y por lo tanto habrá que estudiar el tipo de fallo de este material. El acero es un material dúctil y tenaz, por lo tanto se considerará que el modelo ha llegado a la falla cuando se pierda su comportamiento elástico y la pieza empiece a deformarse plásticamente. Hay que llegar pues únicamente el límite elástico del material, y no será necesario alcanzar la tensión de ruptura del material.

En los materiales dúctiles, como el acero, los dos criterios de falla con los que se puede trabajar son el criterio de Von Mises y el criterio de Tresca. Debido a la más alta precisión del criterio de Von Mises respecto al de Tresca y a que el criterio de Von Mises es menos restrictivo, se ha decidido trabajar con el Von Mises.

Utilizando el programa ANSYS y basándose en el criterio de fallo elástica de Von Mises, este proporciona las tensiones normales equivalentes σ_{eq} de Von Mises, correspondientes a cada elemento del mallado de la pieza. De este modo el fallo elástica se da cuando $\sigma_{eq} \geq \sigma_e$, donde σ_e es la tensión correspondiente al límite elástico del material empleado, en este caso el acero descrito en anteriormente.

En la figura. 7.2.4.2 se muestra las tensiones equivalentes de Von Mises para cada elemento de la cesta, al ser sometido un peso total de 2100Kg con las condiciones de contorno descrito.

Consecuentemente, se llega a la conclusión de que al someter la cesta a la carga máxima, la tensión máxima equivalente obtenida a la pieza es 107,6MPa, no supera la tensión del límite elástico (275MPa) y por tanto no se produce el fallo elástica.

$$\sigma_{eq} = 107.6 \text{ MPa} \leq 275 \text{ MPa} = \sigma_e$$

A partir de la tensión máxima equivalente obtenida con la carga máxima (107,6MPa) y la tensión del límite elástico del material (275MPa), se puede determinar fácilmente el coeficiente de seguridad con la siguiente ecuación:

$$\gamma_{seg} = \frac{\sigma_e}{\sigma_{eq}} = \frac{275}{107.6} = 2.55$$

7.3 Estructura metálica

7.3.1 CYPE 3D descripción general

CYPE 3D es un ágil y eficaz programa pensado para realizar el cálculo de estructuras en tres dimensiones de barras de hormigón, de acero, mixtas de hormigón y acero, de aluminio, de madera, o de cualquier material, incluido el dimensionamiento de uniones (soldadas y atornilladas de perfiles de acero laminado y armado en doble T y perfiles tubulares) y el de su cimentación con placas de anclaje, zapatas y encepados.

Las barras de madera, de acero o de aluminio; y los pilares y las vigas de hormigón armado, pueden ser dimensionadas por el programa. Los pilares mixtos de hormigón y acero pueden ser comprobados por el programa.

También permite la discretización de estructuras mediante láminas (elementos planos bidimensionales de espesor constante cuyo perímetro está definido por un polígono) para calcular sus esfuerzos y tensiones.

Realiza el cálculo, dimensionamiento y comprobación de la resistencia al fuego de perfiles de madera; y la comprobación de la resistencia al fuego y el dimensionamiento del revestimiento de protección para los perfiles de acero. Efectúa el análisis a sismo de la estructura.

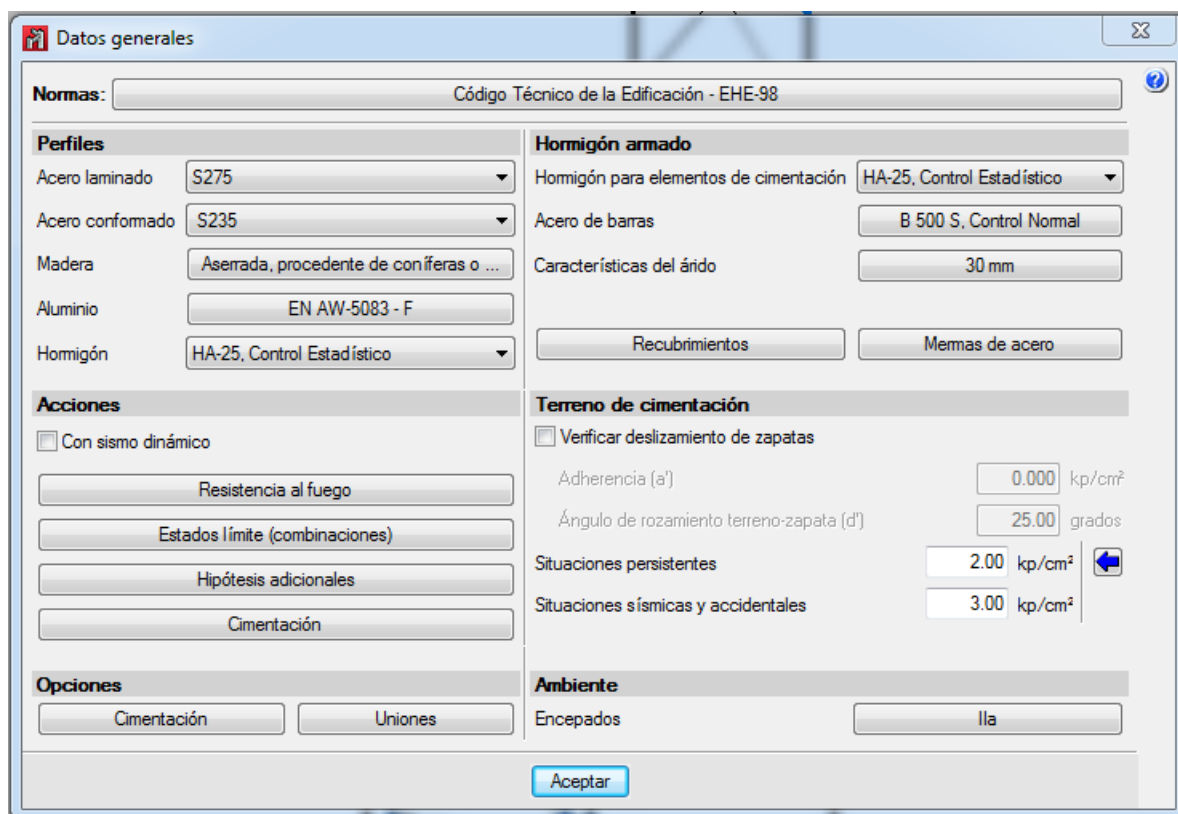


Fig. 7.3.1.1 Datos generales

7.3.2 Hipótesis de carga

CYPE 3D genera automáticamente el peso propio de las barras introducidas que formarán una hipótesis de peso propio. Es posible añadir un número indefinido de hipótesis adicionales con igual o diferente naturaleza (peso propio, sobrecarga de uso, viento, sismo o nieve).

En este proyecto tenemos tres cargas principales

- Peso propio. Como dice su nombre es el peso propio de la estructura, que se crea automáticamente el programa
- Cargas muertas. Es la carga permanente, peso del motor
- Sobrecarga de uso es la carga principal sobre la estructura (peso de coche más cestas).

La diferencia entre carga muerta y sobrecarga de uso, que el programa aplica un coeficiente de seguridad 1.0 en el primer caso y 1.5 en el segundo.

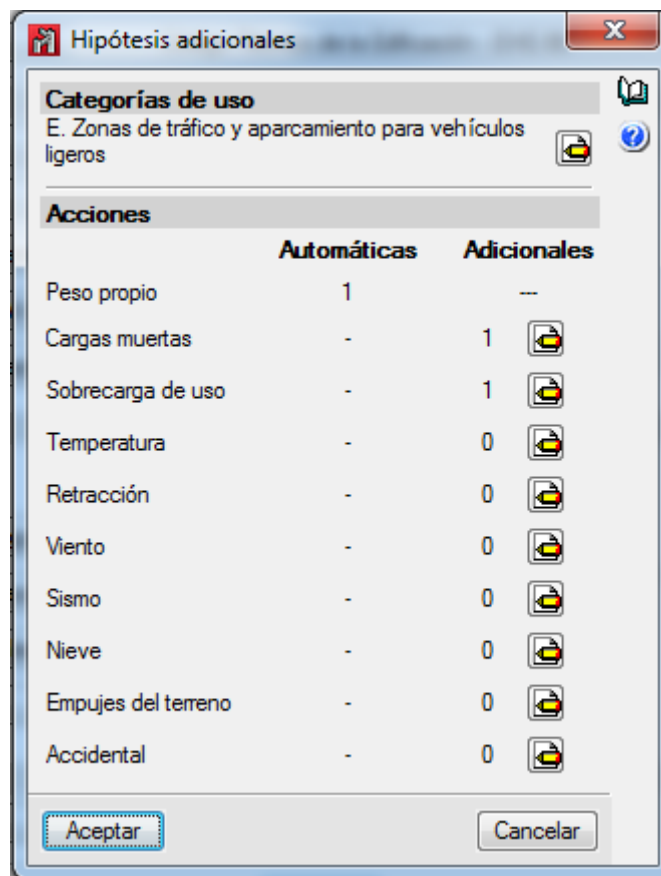


Fig. 7.3.2.1 Hipótesis de carga

Aplicar el peso de motor en la estructura no ha sido muy complicado ya que se puede aproximar a una carga puntual. Un auténtico reto fue aplicar la sobrecarga de uso, ya que no es una fuerza puntual ni tampoco linealmente repartida. Además la fuerza que se transmite a la estructura se realiza mediante una estructura auxiliar (Fig. 7.3.2.2) que transmite todo el peso de los coches más de las cestas a la estructura principal

Se decidió dibujar la estructura auxiliar en ANSYS aplicando las fuerzas y ver las reacciones en la base (Fig. 7.3.2.3). Como no es más que unas chapas soldadas, se utilizó el tipo de elemento Shell 181 para modelarla.

En cuanto a las condiciones de contorno como la base esta soldada a la estructura principal, se bloquearan todos los movimientos y rotaciones de la base de la pieza auxiliar. Como ya se puede ver la transmisión de la carga es mediante unas ruedas, que se puede aproximar a un contacto puntual perpendicular a la tangente en el punto de contacto. Es evidente que hay infinitas posiciones de contacto entre ruedas y estructura, ya que es un mecanismo dinámico, pero se estudiara solo un caso.

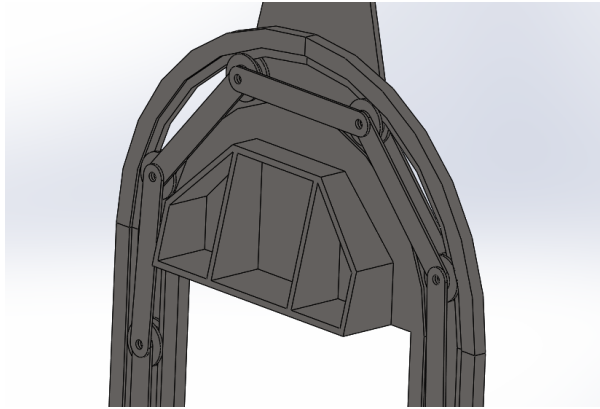


Fig. 7.3.2.2 Estructura auxiliar

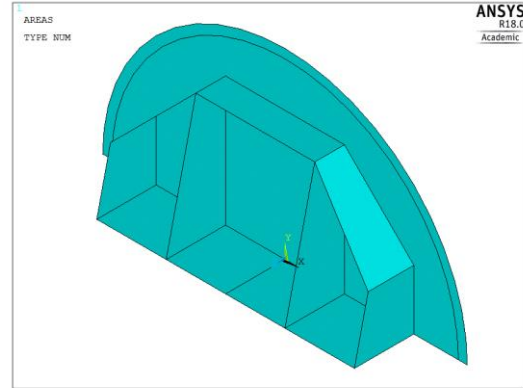


Fig. 7.3.2.3 Modelo de ANSYS

En la figura 7.3.2.4 es uno de los casos que se calculará. Primero se calculara el peso que aguanta la barra 1, que será la cuarta parte del peso de nueve coches y nueve cestas.

$$\text{Barra 1} = \frac{9 \cdot 2,1 + 9 \cdot 2.5}{4} = 10.35 \text{ Tn}$$

Ahora hay que descomponer la carga, uno en la dirección de la barra 2 y el otro en la dirección perpendicular del tangente en el punto de contacto.

Como tenemos la carga y los dos ángulos, se pueden calcular las descomposiciones según el teorema de seno:

$$\text{dirección barra 2} = \frac{10.35}{\sin(180 - (76.07 + 38.28))} \cdot \sin(76.07) = 11.03 \text{ Tn}$$

$$\text{dirección de contacto} = \frac{10.35}{\sin(180 - (76.07 + 38.28))} \cdot \sin(38.28) = 7.04 \text{ Tn}$$

Entonces la carga sobre la barra 2 seria:

$$\text{Barra 2} = 11.03 \text{ Tn}$$

Haciendo la misma descomposición que se ha realizado en el caso de barra 1, se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{dirección barra 3} = \frac{11.03}{\sin(180 - (65.85 + 48.43))} \cdot \sin(65.85) = 11.04 \text{ Tn}$$

$$\text{dirección de contacto} = \frac{11.03}{\sin(180 - (65.85 + 48.43))} \cdot \sin(48.43) = 11.04 \text{ Tn}$$

También hay una carga de un cuarto de peso de un coche y una cesta en la dirección vertical.

$$\text{dirección vertical} = \frac{2.1 + 2.5}{4} = 1.15 \text{ Tn}$$

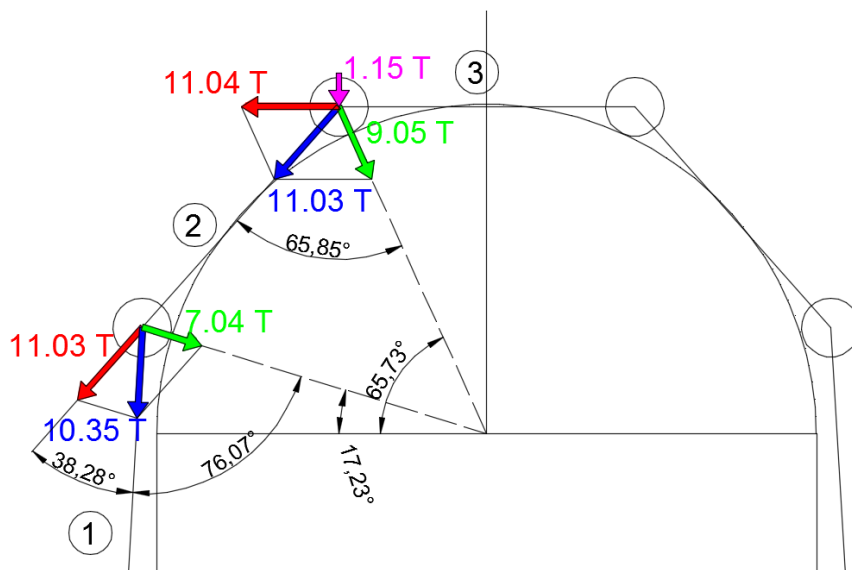


Fig. 7.3.2.4 Distribución de la carga

Ahora se aplica las fuerzas obtenidas en la dirección de contacto sobre el modelo de ANSYS explicado anteriormente. Es evidente que el modelo tiene una simetría respecto al plano YZ, por lo tanto para ahorrar el coste de computación y facilitar el modelo se decide analizar solo la mitad de la pieza.

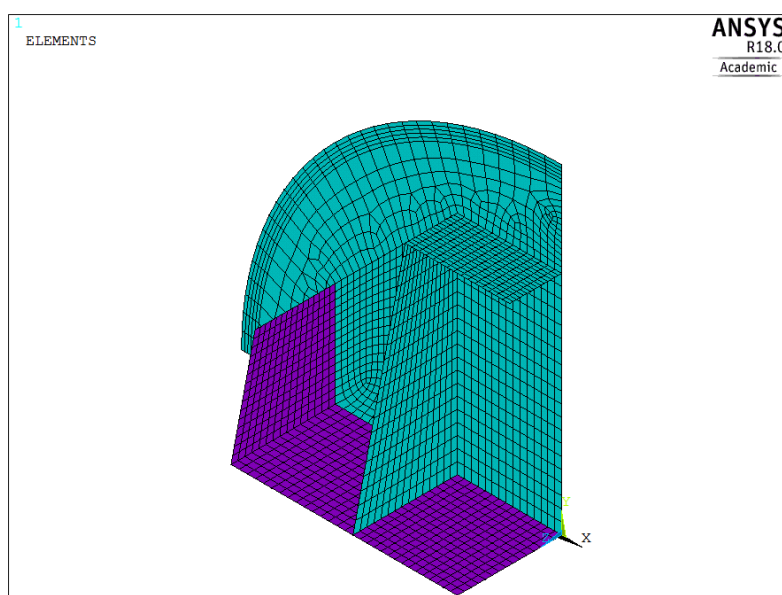


Fig. 7.3.2.5 Modelo a analizar

En el plano de simetría se han bloqueado el desplazamiento en la dirección X y las rotaciones en los ejes Y y Z, así dejando libre los desplazamientos en la Y, Z y la rotación en la X. Como ya se ha dicho anteriormente el objetivo de la simulación es ver las reacciones en los puntos donde se apoya la pieza sobre la estructura principal.

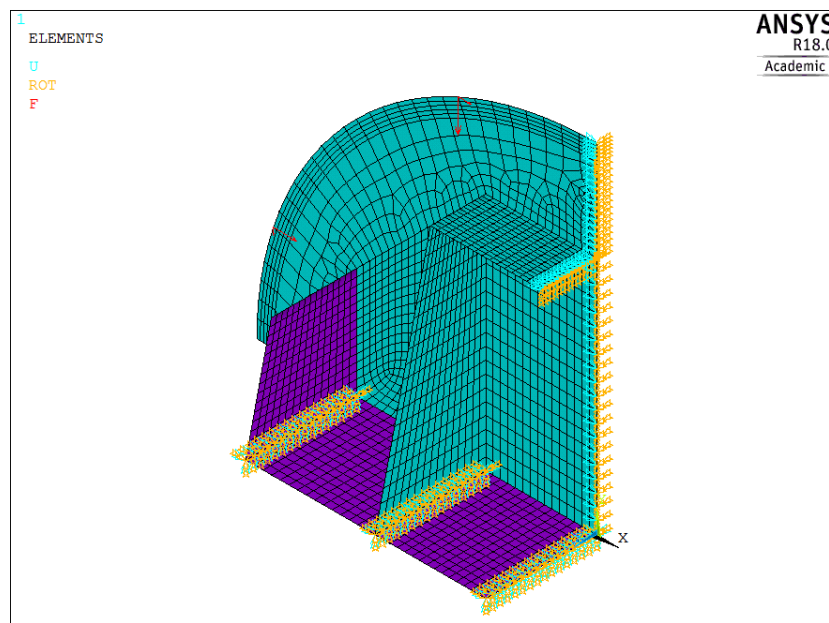


Fig. 7.3.2.6 Condiciones de contorno

A continuación, una vez realizado las condiciones de contorno y mallado que parece ser más adecuado, hay que encontrar la solución del modelo y analizar los resultados.

En la siguiente tabla se puede ver el resultado de las reacciones obtenidas en cada nodo (Fig. 7.3.2.7).

Nodo	Fuerza (N)	Nodo	Fuerza (N)	Nodo	Fuerza (N)
259	-1582,3	3	-1401,3	46	-23,18
260	-1233,3	4	-1088,7	45	-16,45
261	-955,38	5	-822,07	44	-13,245
262	-624,57	6	-503,69	43	-12,086
263	-310,59	7	-190,88	42	-11,357
264	46,588	8	159,73	41	-9,733
265	390,96	9	511,48	40	-5,7619
266	819,22	10	931,5	39	2,9657
267	1227,9	11	1359,7	38	21,202
268	1851,6	12	1968,8	37	60,192
269	2429,9	13	2623,4	36	147,94
270	3730,6	14	3951,3	35	359,78
271	4971,6	15	5681,9	34	929,59
272	11215	16	13000	33	3112,6
Suma	21977,228	Suma	26181,17	Suma	4542.457

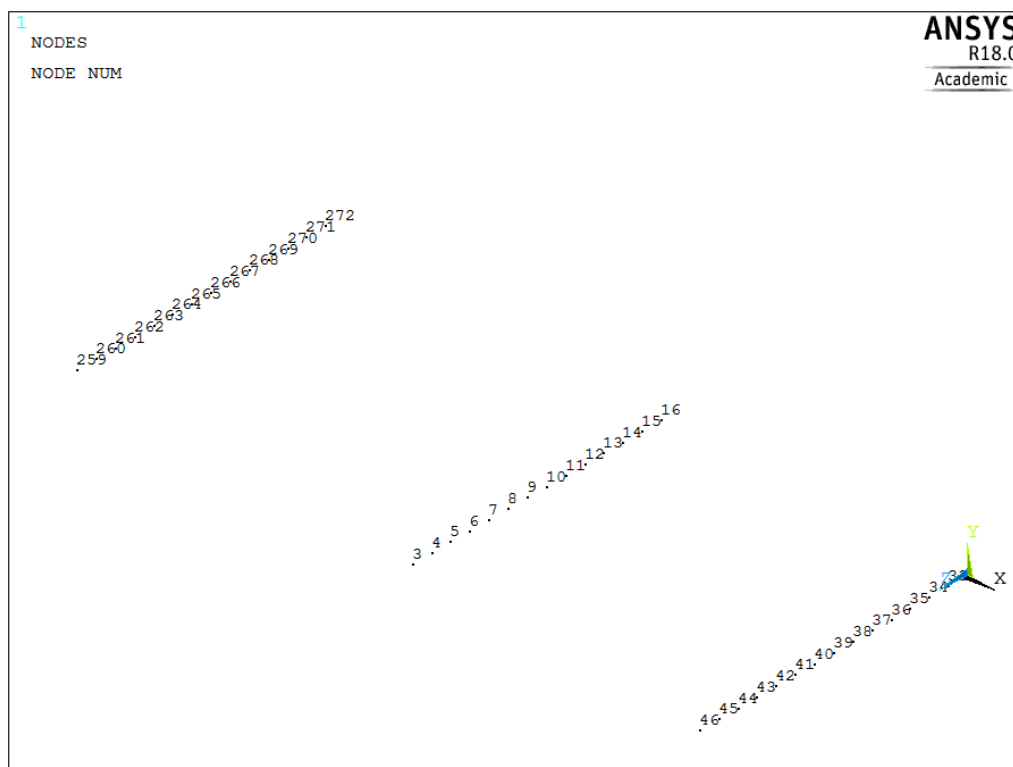


Fig. 7.3.2.7 Numeración de nodos

Como en CYPE no se puede variar la fuerza en la dirección transversal de la barra se ha de aplicar la suma las fuerzas de los nodos que están en la misma línea, es decir, una fuerza que es la suma de las fuerzas de los nodos 259 a 272, otra de 3 a 16. La fuerza que está en la mitad de la pieza se ha de multiplicar por dos, ya que está en el plano de simetría.

También hay una importante acción de momento en el eje Z, que no se pueden descuidar. A cambio los momentos en los ejes X y Y son tan pequeños que se desprecian.

Nodo	Momento en Z (N·mm)	Nodo	Momento en Z (N·mm)
259	-74,316	3	101,62
260	365,86	4	67,744
261	820,23	5	31,356
262	1265,8	6	5,1479
263	1766,9	7	-6,402
264	2392,3	8	4,3032
265	3225,7	9	46,594
266	4384,5	10	133,38
267	6048	11	279,15
268	8527,4	12	507,38
269	12370	13	846,11
270	18538	14	1355,2
271	29163	15	2074
272	45146	16	3203,6
Suma	133939,374	Suma	8649,1831

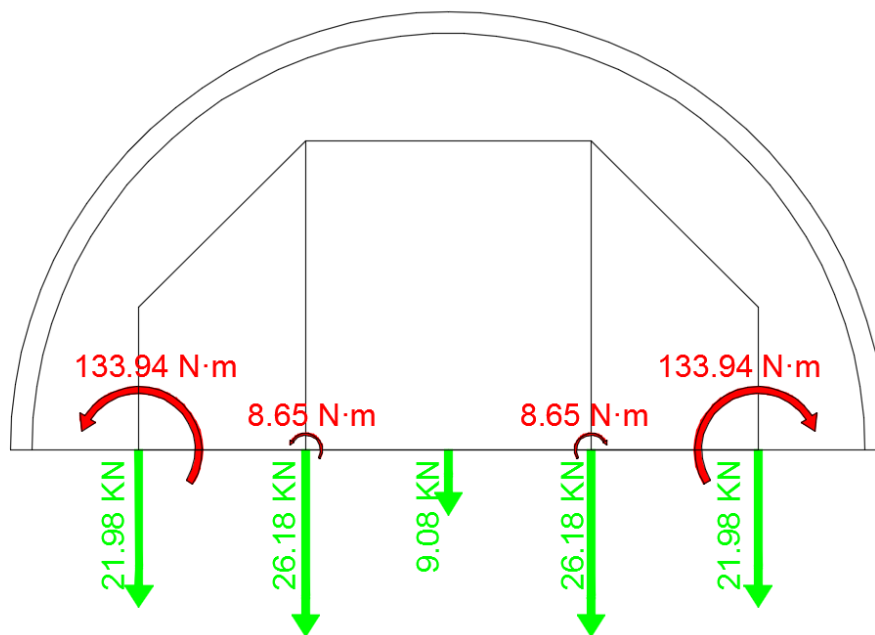


Fig. 7.3.2.8 Fuerzas obtenidas

7.3.3 Análisis de los resultados

Una vez realizados todos los pasos para el correcto cálculo de estructura principal llega el momento crítico de calcular propiamente dicho. Sin más dilaciones se procede al cálculo de estructura, mostrando CYPE 3D el resultado que puede verse en la figura 7.3.3.1.

Una vez que CYPE ha realizados los cálculos correspondientes sobre la estructura se procede a comprobar si los perfiles elegidos cumplen con la normativa.

Clicando sobre cada una de las barras que CYPE3D indica que no cumplen, en color rojo, el mismo programa indica qué perfil de la serie es el primero que cumple además de mostrar el peso que inferiría a la estructura cada uno de los perfiles de la serie, por lo que cabría pensar que solamente clicando sobre cada una de las barras y cambiando su perfil ya se tendrá la estructura optimizada. Este método permitiría obtener de una forma relativamente rápida una estructura que cumple con los requisitos de resistencia estructural, sin embargo, no estaría optimizada pues no sería la estructura con el menor peso posible. Esto es debido a que CYPE emplea métodos matriciales en los cálculos internos que se realizan se producirán acoplamientos de matrices, esto quiere decir que una modificación en una barra afectará al resto de barras de la estructura, por ello el mejor método a seguir es recalcular la estructura ante cada modificación que se haga.

Como se puede ver en la figura 7.3.3.2 todas las barras cumplen las normativas: pandeo, soldaduras, límite elástico etc.

El dibujo más detallado de la estructura con todos los perfiles se puede encontrar en la carpeta de planos.



Fig. 7.3.3.1 Estructura y cimentación



Fig. 7.3.3.2 Resultado de cálculos

CYPE 3D también pueden dimensionar cimentaciones realizadas con zapatas rígidas de hormigón armado o en masa, aisladas o combinadas de varios pilares y pantallas con libre disposición. Este módulo también dimensiona zapatas corridas bajo muro y las correas de atado y vigas centradoras entre zapatas.

Las zapatas pueden ser de hormigón armado o de hormigón en masa, de canto constante o variable, y el programa puede dimensionarlas de modo que sean cuadradas, rectangulares, excéntricas, de esquina o medianeras. El cálculo y dimensionamiento de zapatas forma parte de un módulo de CYPE 3D.

Comparando los resultados obtenidos en el apartado de [7.1 Cimentación](#) se puede ver que los resultados obtenidos son idénticos.

A diferencia de los cálculos realizados en el apartado 7.1 Cimentación en este caso se ha añadido cálculo de vigas de atado.

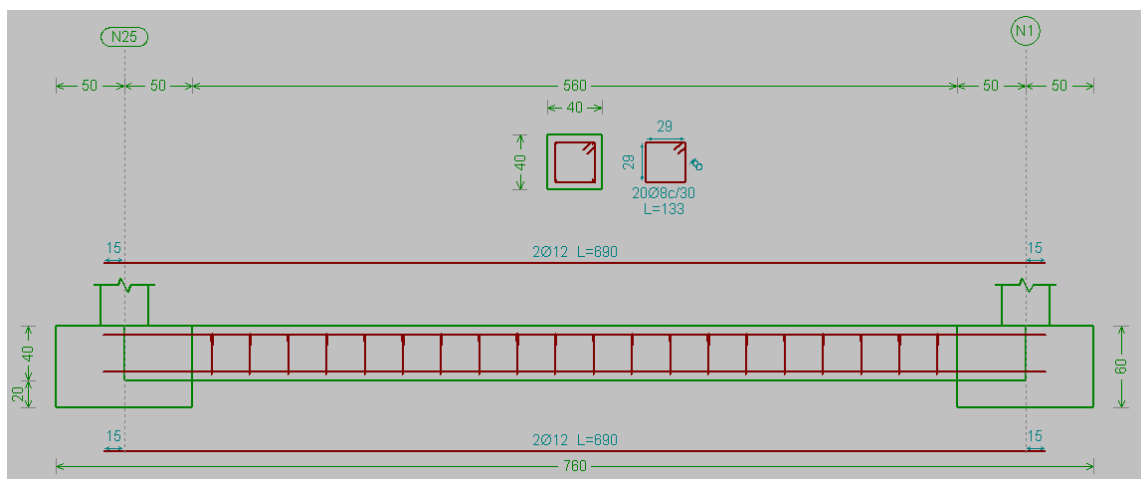


Fig. 7.3.3.3 Viga de atado

La finalidad de las vigas de atado es absorber las posibles acciones horizontales que pueden recibir los cimientos bien de la estructura bien del propio terreno, evitando de esta forma el desplazamiento horizontal relativo de uno respecto a otro.

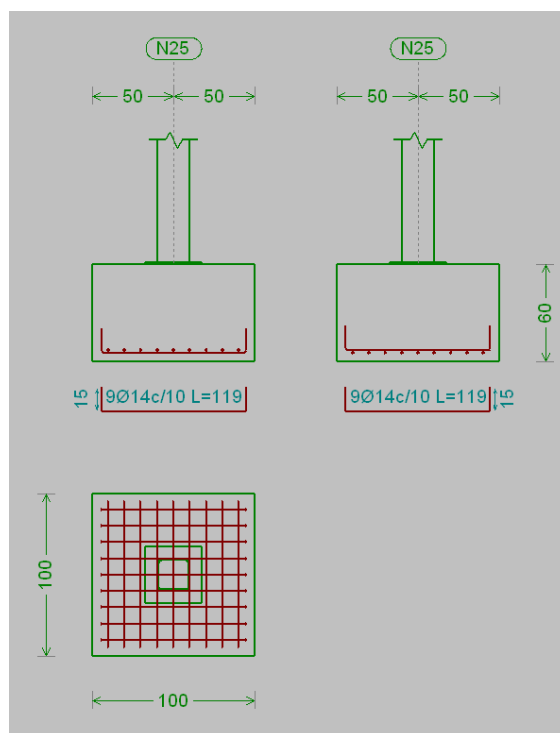


Fig. 7.3.3.4 Cimentación CYPE 3D

En la figura 7.3.3.5 podemos ver la comprobación de la zapata aislada.

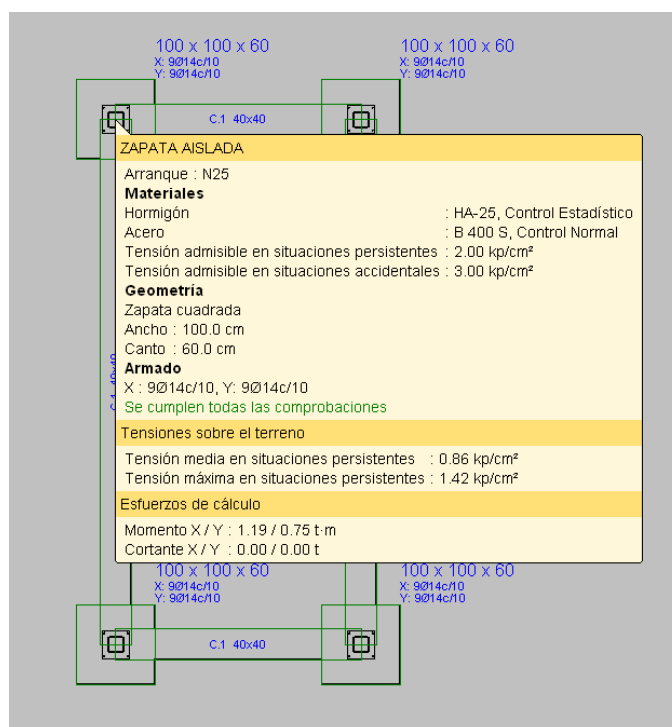


Fig. 7.3.3.5 Comprobación de la zapata aislada

El plano más detallado se puede ver en la carpeta de planos.

Los listados son los documentos que genera el programa para la comprobación o justificación del cálculo de la estructura. Existen multitud de listados, aunque no siempre es necesario generar todos ellos. El exceso de información puede ser incluso más perjudicial que la escasez.

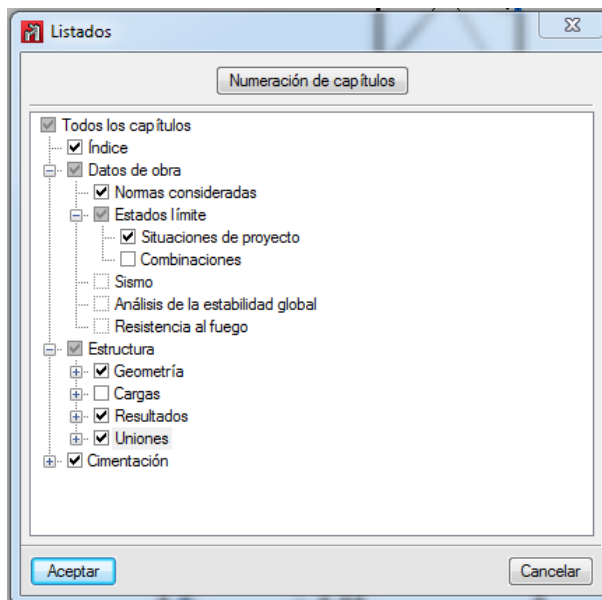


Fig. 7.3.3.6 Listados del proyecto

Uno de los listados más útiles es el Listado de datos de obra donde se definen la geometría, los materiales, las acciones, la normativa,... de los que es imprescindible dejar constancia en la memoria.

Los listados se pueden tanto imprimir como exportar. La impresión se realiza directamente en la impresora del sistema mientras la exportación se puede realizar en formato texto [archivo LJA] o en HTML. Ésta última opción permite la edición en cualquier programa de tratamiento de textos como el Word.

Una vez que se ha realizado la comprobación del cálculo de la estructura, y se ha dado el visto bueno, se puede proceder a generar los planos.

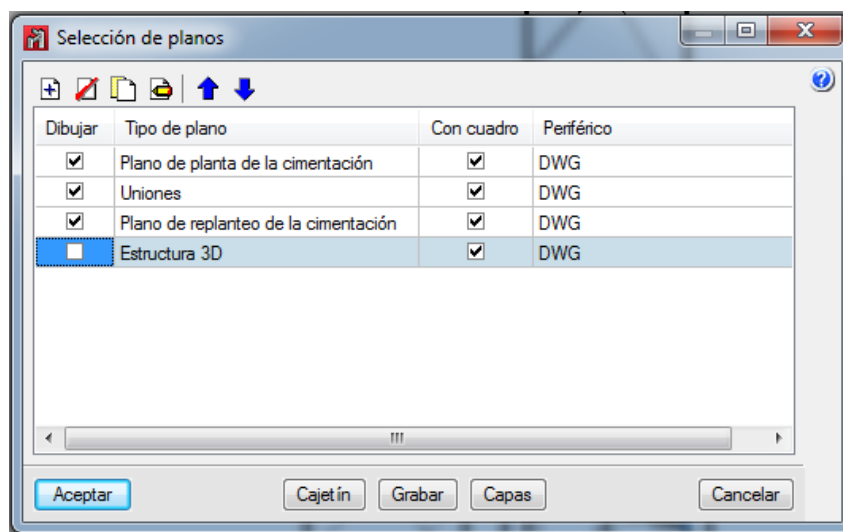


Fig. 7.3.3.7 Planos del proyecto

Lo primero que debe definirse son los formatos de planos. En el menú, puede configurarse el tamaño de los planos para la exportación de los dibujos en formato *.dwg o *.dxf. Si se quiere evitar que el programa genere un tamaño determinado de planos, deberemos suprimirlos de la lista

Todos los listados se figuran en la carpeta de Anexo.

8. Estudio económico

Los costes de este proyecto se han dividido en tres grupos:

- Costes directos
- Costes de ingeniería
- Coste de licencia de software

Hay que decir que los precios son estimativos, y pueden desviarse algo de la realidad. Aunque se ha intentado aproximar a la situación actual del mercado.

8.1 Costes directos

En el coste directo se incluye el coste propio del proyecto.

Se entiende como coste propio la construcción de la estructura hasta ponerla en marcha. Calcular el precio exacto de construcción de aparcamiento puede ser un auténtico reto, pero se puede hacer una aproximación que se asimile a la realidad, calculando el coste de material y mano de obra.

Para calcular el precio de material se ha partido del precio de un Kg de acero estructural, que es: 1,17€/kg. Como tenemos el modelo completo hecho en SolidWorks, con el material indicado, podemos ver la masa total de la estructura: 30218.85 Kg. Entonces el precio total de perfiles sería 35356€.

La estructura se protegerá con una pintura ignífuga intumescente para estructuras metálicas. En caso de incendio crea una espuma aislante protectora, ideal para estructuras de acero. Se utilizarán cuatro potes de pintura de 25 Kg, con un precio de 164.90€ por unidad.

Para soldar la estructura se ha supuesto que cuatro soldadores en dos semanas podrían terminar el trabajo. Con un salario medio de 150€/día. También será necesario contratar peones y pintores, que trabajaran durante 15 y 10 días respectivamente, cobrando 90 y 130 € por día.

Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 400 S, cuantía 50 kg/m³, incluido encofrado, según la base de datos de CYPE tiene un precio medio de 138.62€/m². Teniendo en total 37.13 m² de suelo cimentado, el precio total es de 5146€

	Precio		días	Precio total
Perfiles metálicos				35356 €
Pintura	164.90€/Ud.	4 Ud.		659.6 €
Cimentación	138.62€/m ²	37.13 m ²		5146 €
Peón	90 €/día	2 Personas	15 días	2700 €
Pintor	130 €/día	3 Personas	10 días	3900 €
Soldador	150 €/día	4 Personas	10 días	6000 €
Grúa montada sobre camión	200 €/día		3 días	600 €
Camión transportador				500 €
Costes directos				54861.6 €

Hay que decir que este presupuesto no incluye la instalación, transporte ni tampoco motores y la estructura de la cadena de transmisión.

8.2 Coste de ingeniería

El proyecto se realiza por una persona que ha realizado las tareas de diseño, cálculos de estructuras y realización de planos.

Para determinar el coste total para la persona que desarrolla el proyecto se ha generado una tabla con las horas dedicadas a cada apartado y el precio correspondiente.

Actividad	Horas dedicadas	Precio por hora	Precio
Investigación de mercado	40 h	70 €/hora	2800 €
Diseño conceptual	20 h	60 €/hora	1200 €
Diseño detallado	30 h	40 €/hora	1200 €
Cálculos ANSYS	112 h	70 €/hora	8190 €
Cálculos CYPE	80 h	40 €/hora	3200 €
Presupuesto estimativo	8 h	40 €/hora	320 €
Redacción de memoria	40 h	20 €/hora	800 €
Coste de ingeniero			17710 €

8.3 Costes de licencia de software

En los costes indirectos se incluyen el equipo informático de lo dispuesto para desarrollar el trabajo y la licencia anual de los programas AutoCad, SolidWorks, ANSYS y CYPE.

AutoCad	1778.70 €/año
SolidWorks	6600 €/año
ANSYS Structural	17756.58 €/año
CYPE 3D	747 €/año
Precio total	26882.28 €/año

Como los programas solo han sido utilizados durante cuatro meses, solo se calculará el precio de parte proporcional de un año, es decir, un tercio de precio total anual.

Coste de licencia de software 8960.76€

9. Planificación temporal

En este apartado se indicarán las etapas que se han seguido en la realización de este proyecto y el tiempo dedicado a cada una de ellas.

Se calcula una duración aproximada de 330 horas para realizar este proyecto. En el diagrama de Gantt de la Fig. 9.1 se puede observar la planificación a lo largo de los 6 meses de la duración total del trabajo.

Un peso muy importante tiene la parte de cálculos y de realización de los planos, ya que son los documentos fundamentales cuando el proyecto está siendo ejecutado. Deben ser completos, concisos y de fácil comprensión.

Se quiere aclarar, que desde febrero hasta mayo se dedicaron 8h/diarias, mientras que a partir de mayo las horas dedicadas a la semana se redujeron a 4-6 h/semanales debido a estar trabajando.

Esta es la razón por la que hay más días dedicados a la memoria que en las otras actividades.

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Planificación de TFG	98 días	mié 15/02/17	sáb 26/08/17	
2	Inicio	0 días	mié 15/02/17	mié 15/02/17	
3	Planificación	1 día	mié 15/02/17	mié 15/02/17	2
4	Estudio del arte	18 días	mié 15/02/17	sáb 04/03/17	2
5	Especificaciones	10 días	sáb 04/03/17	lun 13/03/17	3;4
6	Planteamiento de alternativas	10 días	mar 14/03/17	jue 23/03/17	5
7	Dimensionado básico	16 días	jue 23/03/17	sáb 08/04/17	6
8	Cálculos	24 días	jue 23/03/17	sáb 15/04/17	6
9	Estudio económico	10 días	sáb 15/04/17	mar 25/04/17	8;7
10	Hacer impacto ambiental	7 días	mar 25/04/17	mar 02/05/17	9
11	Hacer los planos	29,88 días	sáb 08/04/17	Dom 07/05/17	7
12	Escribir la memoria	60 días	jue 23/03/17	sáb 26/08/17	6
13	Fin de proyecto	0 días	sáb 26/08/17	sáb 26/08/17	10;11;12

Fig. 9.1 Actividades diagrama de Gantt

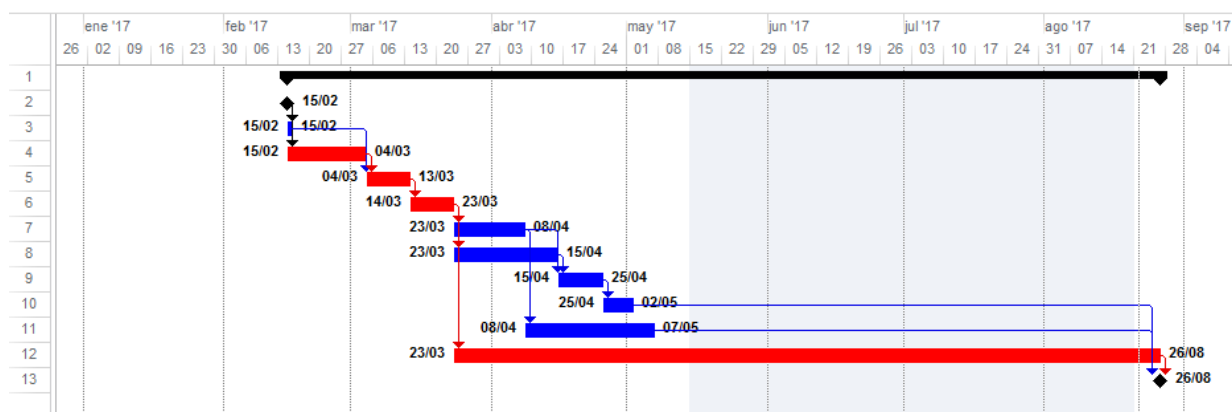


Fig. 9.2 Diagrama de Gantt

10. Impacto ambiental

10.1 Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida

Tradicionalmente en el sector de la construcción se han utilizado materiales de carácter local tales como el ladrillo, la madera, el corcho, etc., lo que se traducía en unos costes energéticos e impactos ambientales reducidos.

Según diversos estudios, la fabricación de los materiales precisos para construir un metro cuadrado de una estructura metálica puede suponer la inversión de una cantidad de energía equivalente a la producida por la combustión de más de 30 litros de gasolina. Cada metro cuadrado construido conllevaría una emisión media de 0,1 toneladas de dióxido de carbono y un consumo energético de 320 kWh (que variaría en función del diseño) considerando solamente el impacto asociado a los materiales.

10.2 Metodología del análisis de ciclo de vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es una de las metodologías más adecuadas para evaluar el impacto ambiental de cualquier tipo de producto o servicio, y, por tanto, puede aplicarse sobre un material o solución constructiva.

Es obvio que existe una interacción entre todas las etapas de la vida de un edificio o estructura metálica: diseño, construcción, uso, mantenimiento y disposición final. Por ello, una reducción de la inversión en la etapa de construcción puede conllevar un aumento de la inversión en las etapas de uso y mantenimiento de la estructura metálica.

En la actualidad, la metodología del ACV es aceptada como base sobre la que comparar materiales, componentes y servicios alternativos. La metodología de aplicación general está totalmente estandarizada a través de las normas UNE EN ISO 14040:2006 y UNE EN ISO 14044:2006, y consta de 4 fases interrelacionadas:

- Definición de objetivos y del ámbito de aplicación.
- Análisis de inventario, donde se cuantifican todos los flujos energéticos y materiales entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos o emitidos hacia el medioambiente.
- Evaluación de los impactos, donde se realiza una clasificación y evaluación de los resultados del inventario, relacionando sus resultados con efectos ambientales observables por medio de un conjunto de categorías de impactos (energía primaria acumulada, potencial de calentamiento global, huella hídrica, etc.).
- Interpretación, donde los resultados de las fases precedentes son evaluados juntos, en consonancia con los objetivos definidos en el estudio, para poder establecer las conclusiones y recomendaciones finales. Para ello se incluyen diversas técnicas como el análisis de sensibilidad sobre los datos utilizados, análisis de la relevancia de las etapas del proceso, análisis de escenarios alternativos, etc.

10.3 Reciclaje de materiales de construcción.

El acero es un metal que no pierde sus cualidades, como la resistencia, la dureza o la maleabilidad. Por tanto, se puede reciclar todas las veces que se desee. La Unión de Empresas Siderúrgicas (Unesid) estima que desde 1900 se han reciclado 22.000 millones de toneladas de acero en el mundo. Por cada segundo que pasa, se reciclan en el mundo 15 toneladas de acero.

En la fabricación de acero reciclado apenas se desperdicia material, con un rendimiento cercano al 100. Gracias a su capacidad magnética y a las corrientes de inducción, el acero es el material más fácil y barato de recolectar de todos los producidos. Además, al igual que el resto de metales que admiten un reciclado mediante refusión, es el material más reciclable y reciclado del mundo tanto en calidad como cantidad (igualado en porcentaje por los metales nobles).

La industria siderúrgica española, en su reciente informe sobre el reciclado del acero (IRIS 2013), afirma que por cada tonelada de acero reciclada, ahorra alrededor de una tonelada y media de mineral de hierro, un 85% de agua, un 80% de energía y un 95% de carbón.

El aumento y la mejora del reciclaje de acero reducen el impacto ambiental. Desde 1970 el sector siderúrgico español ha disminuido sus emisiones de dióxido de carbono (CO_2) por tonelada de acero producida en más del 75%. Desde 1960 ha bajado en un 95% el agua consumida, al reutilizarla en los procesos, y los vertidos se limitan a purgas o evaporación para enfriar procesos. Entre el 90% y el 100% de los residuos y subproductos del proceso se valorizan. Las escorias, por ejemplo, se reutilizan como áridos en la construcción de carreteras o la producción de cemento.

La responsabilidad ambiental de la industria es cada vez mayor, destacan desde el sector. El 100% del acero español se produce bajo sistemas de gestión ambiental certificados (ISO 14001 y/o EMAS)

11. Normativas

La normativa a tener en cuenta en los cálculos de estructuras y de cimentaciones es la siguiente:

11.1 Cimentaciones

DB-SE Seguridad estructural

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 28 de marzo de 2006

Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 23 de octubre de 2007

Corrección de errores.

B.O.E.: 25 de enero de 2008

Modificado por:

Modificación de determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre

Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 23 de abril de 2009

DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-C.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 28 de marzo de 2006

Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 23 de octubre de 2007

Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02)

Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, del Ministerio de Fomento.

B.O.E.: 11 de octubre de 2002

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)

Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, del Ministerio de la Presidencia.

B.O.E.: 22 de agosto de 2008

Corrección de errores:

Corrección de errores del Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio de 2008

B.O.E.: 24 de diciembre de 2008

Modificado por:

Anulados los párrafos séptimo y octavo del artículo 81 y el anejo 19 de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)

Sentencia de 27 de septiembre de 2012 de la Sala Tercera del Tribunal Supremo.

B.O.E.: 1 de noviembre de 2012

11.2 Estructuras

DB-SE-A Seguridad estructural: Acero

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-A.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 28 de marzo de 2006

Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 23 de octubre de 2007

Corrección de errores.

B.O.E.: 25 de enero de 2008

[Instrucción de Acero Estructural \(EAE\)](#)

Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, del Ministerio de la Presidencia.

B.O.E.: 23 de junio de 2011

[Real Decreto por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión](#)

Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

B.O.E.: 2 de septiembre de 2015

12. Agradecimientos

Me gustaría expresar mi agradecimiento a las personas que han formado parte de este proyecto tan importante para mí.

En primer lugar, quisiera agradecer a mi tutor: Dr. Emilio Angulo, que me han guiado en el desarrollo de este trabajo. Me puso muy fácil desde un primer momento y me ha enseñado todo lo necesario para llevar a cabo la totalidad del proyecto.

Agradezco también a Dr. Frederic Marimon, por orientarme en el desarrollo de los cálculos de estructura y ayudarme en la difícil tarea de encontrar y aplicar las normativas.

Por último, y no por ello menos importante, quisiera dar las gracias a mis padres a mi hermana y a mi novia. No ha sido fácil llegar hasta aquí y esto no hubiera sido posible sin ellos.

Gracias a todos y cada uno de vosotros por forma parte de uno de los proyectos más importantes de mi vida.

13. Conclusiones

En este trabajo de final de grado he logrado una gran cantidad de nuevos conocimientos relacionados con la ingeniería de proyectos de la construcción. He hecho una inmersión en lo que es un proyecto técnico de ingeniería, he aprendido a utilizar múltiples softwares relacionados con este ámbito. En definitiva a nivel de aprendizaje personal ha sido enormemente provechoso.

Si se pone el foco en los objetivos descritos en el inicio de este proyecto, el primero de todos realizar cálculos de un estacionamiento vertical, en general se ha cumplido el objetivo. Además también se ha conseguido un diseño cómodo y atractivo para los usuarios.

El cálculo de un presupuesto detallado no era obligatorio en este trabajo, ya que se trata de un proyecto básico, en el que no se ha alcanzado el nivel de detalle necesario para realizarlo. Se trata de dar ideas aproximadas de precio de proyecto más ejecución del estacionamiento. Sin embargo se ha podido estimar un valor aproximado basándose de peso de la estructura.

Este es un proyecto básico, a partir de este punto se podría continuar con la redacción del proyecto detallado, donde habría que realizar el cálculo de potencia del motor, cadena de transmisión e instalaciones eléctricas.

Por último, la realización de este trabajo se ha mostrado la capacidad de realizar un proceso desconocido en un inicio, hasta concluir en un proyecto íntegro que cumple las expectativas esperadas.

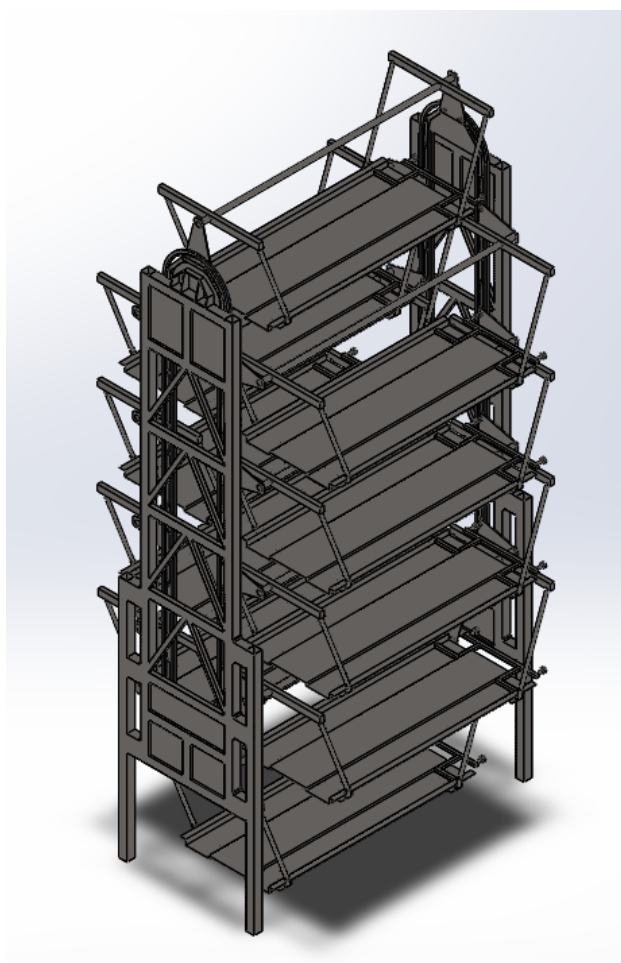


Fig. 12.1 Estacionamiento definitivo

14. Bibliografía

- [1] Ministerio de Vivienda. Código Técnico de la Edificación, DB-SE-C BOE, Madrid, 2008
- [2] Ministerio de Fomento. Instrucción de Hormigón Estructural EHE08 / Comisión Permanente del Hormigón. Centro de Publicaciones (Madrid), 2009.
- [3] La estructura metálica hoy por Ramón Argüelles Álvarez. Ramón Argüelles Álvarez. Madrid: Librería Técnica Bellisto.
- [4] Thompson, Mary Kathryn. (2017). ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis. [S.I.]: BUTTERWORTH-HEINEMANN LTD.
- [5] Manuel Reyes, Antonio. (2015). CYPE 3D 2016 Diseño y Cálculo de Estructuras Metálicas. Madrid: ANAYA MULTIMEDIA.
- [6] Manuel Reyes, Antonio. (2016). AutoCAD 2017. Madrid: ANAYA MULTIMEDIA.
- [7] Ecohabitar.org. (2017). *Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida – EcoHabitar*. [En línea] Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/> [Accedido 29 Ago. 2017].
- [8] Cype3d.cype.es. (2017). *Cálculo de estructuras 3D con barras de madera, acero, aluminio o de cualquier material*. [En línea] Disponible en: <http://cype3d.cype.es/#indice> [Accedido 29 Ago. 2017].